



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Arto Matias Ylinen

TYÖMENETELMÄOPPAAN PÄIVITYS DRYTEC OY:LLE

Tekniikka ja liikenne

2010

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Vaasan ammattikorkeakoulun rakennustekniikan koulutusohjelmassa kevään 2010 aikana. Opinnäytetyön tilaajana toimi Drytec Oy Ab.

Opinnäytetyön ohjaajana on toiminut Vaasan ammattikorkeakoulussa lehtori Heikki Paananen. Yrityksen puolesta ohjaajana toimi Drytec Oy:n toimitusjohtaja Mikael Anderssen. Haluan kiittää Drytec Oy:tä mahdollisuudesta tehdä tämä opinnäytetyö. Haluan myös kiittää Technobotnian laboratorioinsinööri Mika Korpea avusta tiedon hankinnassa ja lehtori Heikki Paanasta erinomaisesta ja kannustavasta ohjauksesta.

Vaasassa 21.5.2010

Arto Ylinen

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennustekniikan koulutusohjelma

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Arto Ylinen
Opinnäytetyön nimi	Työmenetelmäoppaan päivitys Drytec Oy:lle
Vuosi	2010
Kieli	suomi
Sivumäärä	49 + 12 liitettä
Ohjaaja	Heikki Paananen

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli päivittää Drytec Oy:n työmenetelmäopas kosteus- ja homevaurioiden mittausmenetelmien osalta ja perehtyä rakenteiden ja rakennusmateriaalien kosteuskäyttäytymiseen. Tavoitteena oli laajentaa Drytec Oy:llä nykyisin käytössä olevaa opasta, jossa kuvataan heidän eri työmenetelmiä ja mittaustapoja. Näissä uusissa, niin sanotuissa korteissa kuvataan Drytec Oy:n käyttämiä tutkimus- ja mittausmenetelmiä, joilla he kartoittavat kosteus- ja homevaurioita. Seitsemän korttia tuli uusia ja kahta vanhaa parannettiin tämän hetken käytäntöjä vastaaviksi.

Opinnäytetyössä käytettiin aineistona alan kirjallisuutta, yritysten ja tutkimuslaitosten Internet-lähteitä ja Drytec Oy:n omia tietoja ja kokemuksia. Opinnäytetyössä käydään ensin läpi kosteuslähteet, mistä rakenteisiin pääsee kosteutta imeytymään, missä eri muodoissa kosteus rakennuksissa liikkuu ja miten kosteus vaikuttaa eri rakennusmateriaaleihin. Seuraavaksi selvitetään miten kosteus- ja homevaurioita tutkitaan ja mitataan. Lopuksi käydään läpi Drytec Oy:n kartoitusmenetelmiä ja mitä tietoa uusiin kortteihin on sisällytetty.

Asiasanat	kosteusvauriot, homevauriot, vesivahingot
-----------	---

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Rakennustekniikan koulutusohjelma

ABSTRACT

Author	Arto Ylinen
Title	Work Method Guide Update for Drytec Oy
Year	2010
Language	Finnish
Pages	49 + 12 Appendices
Name of Supervisor	Heikki Paananen

The purpose of my thesis was to update the work method guide that Drytec Oy uses for the part of moisture and mould damage measuring methods and to familiarize oneself with moisture behaviour of constructions and construction materials. The aim was to expand the guide that describes Drytec Oy's working methods and measuring procedures that they are using today. In these new so called cards, is described examination and measuring methods that Drytec Oy uses for mapping moisture and mould damages on buildings. Seven new cards were made and two old ones were improved to better suit today's practices.

Material used in the thesis was from literature of the field, internet databases of companies and research institutes and Drytec Oy's own data and experiences. Thesis begins with an explanation of origins of moisture in buildings, where moisture can infiltrate constructions, in which different forms moisture can move in constructions and in materials and how moisture affects different kinds of construction materials. Next part describes how to examine and measure moisture and mould damages on buildings. Final part explains Drytec Oy's damage mapping methods and what information is included in the cards.

Keywords	moisture damages, mould damages, water damages
----------	--

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
LIITELUETTELO	7
KÄSITTEITÄ	8
LYHENTEITÄ.....	9
1 JOHDANTO.....	10
1.1 Opinnäytetyön tausta	10
1.2 Opinnäytetyön tavoite.....	10
2 KOSTEUS RAKENNUSTEKNIKASSA.....	11
2.1 Kosteuslähteet	11
2.1.1 Sade	11
2.1.2 Pohjavesi	12
2.1.3 Vuodot.....	13
2.1.4 Ilman kosteus	13
2.1.5 Rakennekosteus.....	16
2.2 Kosteuden siirtyminen	17
2.2.1 Kapillaarisuus.....	17
2.2.2 Hygroσκοoppinen kosteus	18
2.2.3 Diffuusio	18
2.2.4 Vesihöyryn konvektio	22
2.2.5 Kondensoituminen	23
2.3 Kosteuden vaikutus rakenteisiin	24
2.3.1 Puurakenteet ja kosteus	24
2.3.2 Betonirakenteet ja kosteus.....	26
2.3.3 Teräsrakenteet ja kosteus	28
3 KOSTEUSTEKNISET TUTKIMUKSET.....	29
3.1 Kohteen alustava tarkastelu	29
3.2 Kosteusteknisiä mittauksia.....	30
3.2.1 Pintakosteuden mittaus	30

3.2.2	Rakennekosteuden mittaus.....	31
3.2.3	Tiiveyden, ilmapinnan ja paine-eron mittaus	33
3.2.4	Rakenteiden lämpövuodon määrittäminen.....	34
3.3	Homevaurio- ja ilmanlaatu tutkimuksia.....	35
3.3.1	Ilmanlaatu tutkimus.....	35
3.3.2	Materiaalinäytteen homevaurion tutkiminen	35
3.3.3	Näytteiden analysointi.....	37
4	TUTKIMUSMENETELMIEN OHJEISTUKSEN PÄIVITYS	39
4.1	Drytec Oy Ab.....	39
4.2	Työmenetelmäopas	39
4.3	Muutokset ja lisäykset oppaaseen.....	40
4.3.1	Materiaalinäyte.....	40
4.3.2	Kuitunäyte	41
4.3.3	DNA-analyysi	41
4.3.4	Rakennuksen myrkyllisyyden pikatesti.....	42
4.3.5	Ilmanäyte.....	42
4.3.6	Yhdisteet	43
4.3.7	Yhdistetty ilmanäyte ja materiaalinäytteen emissiomittaus	43
4.3.8	Ilmanäyte Anderssen 6-vaihe imaktorilla	44
4.3.9	Lämpökamerakuvaus	44
5	YHTEENVETO	45
	LÄHDELUETTELO.....	47

LIITELUETTELO

- | | |
|---------|--|
| LIITE 1 | Kosteusvaurioindikaattorit, toksiset indikaattorimikrobit ja Baarnin indikaattorilista |
| LIITE 2 | Esimerkkikortti vanhasta työmenetelmäoppaasta |
| LIITE 3 | Uudet RUT 005 -kortit |
| LIITE 4 | Uudet RUT 004 -kortit |
| LIITE 5 | Uusi RUT 006 -kortti |

KÄSITTEITÄ

Adsorbentti	on kromatografiassa käytetty kiinteä aine, jonka pintaan aineet voivat adsorboitua.
Emissio	tarkoittaa säteilyä, hiukkasten tai energian siirtymistä säteilylähteestä ympäristöön tai kohteeseen.
Hiukkasten inertia	kuvaa hiukkasen massan hitautta eli sitä, kuinka nopeasti hiukkanen seuraa ilmvirtausta. Mitä suurempi hiukkanen, sitä hitaammin se reagoi ilmvirtauksen muutoksiin.
Ilmanvuotoluku	on rakennukseen yhdessä tunnissa tulevan ilman määrää, kun sisä- ja ulkoilman välillä on 50 Pascalin paine-ero.
Mikrobi	on mikroskooppisen pieni eliö, joka voi koostua yhdestä solusta tai solurykelmästä, esimerkiksi homeet.
Mykotoksiini	on homesienten tuottama yhdiste, joka on haitallinen ihmisen terveydelle. Ne ovat sienten aineenvaihduntatuotteita.
Rakennuksen vaippa	tarkoittaa rakennuksen osia, jotka erottavat rakennuksen lämpimät sisäosat ulkoilmasta, maaperästä tai lämmittämätömästä tilasta lämmöneristyksellä.

LYHENTEITÄ

cfu	Colonial forming units, pesäkkeen muodostava yksikkö (pmy)
DNA	Deoksiribonukleiinihappo
FLEC	Field and Laboratory Emission Cell, kenttä- ja laboratorioemissiokammio
PCR	Polymerase Chain Reaction, polymeerasiketjureaktio
POM	Particulate Organic Matter, orgaaninen pienhiukkanen
RakMK C2	Rakennusmääräyskokoelma, osa C2
MVOC	Microbial Volatile Organic Compound, mikrobiperäinen haihtuva yhdiste
SVOC	Semi Volatile Organic Compound, puolihaihtuva orgaaninen yhdiste
VOC	Volatile Organic Compound, haihtuva orgaaninen yhdiste
VVOC	Very Volatile Organic Compound, erittäin haihtuva orgaaninen yhdiste

1 JOHDANTO

1.1 Opinnäytetyön tausta

Drytec Oy tekee kosteus- ja vesivahinkojen kartoituksia, kuivauksia ja saneerauksia. Heille kosteusvaurioiden tutkiminen on jokapäiväistä työtä ja nykyajan tutkimus- ja korjaustekniikat ovat tulleet tutuiksi. Jotta yrityksen työmenetelmät olisivat helposti opetettavissa uusille työntekijöille ja päivitettävissä tekniikan kehityksessä, on heillä oltava opas, josta työmenetelmät ja tutkimustavat ilmenevät selvästi ja yksinkertaisesti kerrottuna. Kosteuskäyttäytymistä ja kosteusvaurioita rakennuksissa on tutkittu tarkasti jo kymmeniä vuosia ja tietoa niiden mittaamisesta ja korjaamisesta löytyy valtavasti. Ongelmana on, kuinka saada kaikesta tästä tiedon määrästä tarvittava tieto ja saada se sopivasti tiivistettyyn pakettiin, josta tieto löytyy nopeasti.

1.2 Opinnäytetyön tavoite

Tavoitteena on päivittää Drytec Oy:llä käytössä olevaa työmenetelmäopasta ja kirjata nykyisiä työ- ja tutkimusmenetelmiä oppaaksi, josta menetelmät ovat selvästi ja nopeasti työntekijöiden luettavissa ja tarvittaessa oppaan avulla voidaan kuvata työmenetelmiä myös asiasta kiinnostuneille asiakkaille. Oppaan on tarkoitus mahdollistaa työntekijöille eri mittausmenetelmien työvaiheiden kertaaminen ja näin työn laadun parantaminen. Lisäksi tavoitteena on perehtyä syihin, miksi kosteusvaurioita ilmenee niille yleisissä paikoissa rakennuksissa ja rakennusmateriaaleissa ja sisällyttää tämä tieto oppaan sivuille helposti luettavaan muotoon.

2 KOSTEUS RAKENNUSTEKNIKASSA

Meitä ympäröivä ilma ja kaikki huokoiset materiaalit ja rakenteet sisältävät normaalioloissa jonkin verran kosteutta, jonka määrä riippuu materiaalin ominaisuuksista, ympäröivän ilman lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta. Rakenteisiin saattaa joutua ylimääräistä kosteutta myös rakentamisen ja käytön yhteydessä.

”Rakenteet ja LVI-järjestelmät on tehtävä siten, ettei sisäisistä ja ulkoisista kosteuslähteistä peräisin oleva vesihöyry, vesi tai lumi haitallisesti tunkeudu rakenteisiin ja rakennuksen sisätiloihin. Tarvittaessa rakenteen on kyettävä kuivumaan haittaa aiheuttamatta tai rakenteen kuivattamiseen esitetään suunnitelmissa menetelmä.” <RakMK C2 1999, 11.>

2.1 Kosteuslähteet

Kosteutta ilmenee rakennuksissa eri muodoissa. Nestemäisenä se on voinut vuotaa jostakin rakenteiden väleistä tai kondensoitua vesihöyrystä rakenteen pinnalle. Vesihöyrynä kosteutta on ilmassa aina jonkin verran. Rakenteissa kosteutta esiintyy rakennusmateriaaliin imeytyneenä nesteenä. (Siikanen, Unto 1996, 52.)

2.1.1 Sade

Sade on yksi tärkeimpiä rakennukseen ja rakennusmateriaaleihin kohdistuvia rasiustekijöitä ja kosteusvaurioiden aiheuttajia. Sade voi esiintyä vetenä, lumenä, veden ja lumen sekaisena räntänä tai jäänä. Näistä räntä pysyy pisimmän ajan rakenteen pinnalla, aiheuttaen siten suurimman kosteusrasitteen. Sateen vaikutus voidaan jakaa ajallisesti kahteen jaksoon: rakentamisaikaiseen, jolloin sade voi vahingoittaa rakennusmateriaaleja ja puolivalmiita rakenteita ja rakentamisen jälkeiseen, kun rakennus on jo valmis ja sade on rasitteena rakennuksen ulkokuoren kautta muihin rakenteisiin. (Björkholtz, Dick 1997, 40; Siikanen, Unto 1996, 52.)

Suomessa yleisempi pystysade ei aiheuta niin paljon harmia kuin viistosade, jota esiintyy enemmänkin rannikoilla. Viistosateeseen liittyy aina voimakas tuuli, joka ohjaa sadepisarat viistossa kulmassa pystysuoriin rakennuspintoihin ja talvella voimakas tuuli voi saada kevyen lumen tunkeutumaan tuuletusaukkoihin ja niin

sanotusti kiipeämään pystysuoraa seinää ylöspäin ohjaten sen yläpohjarakenteisiin asti. Vaipparakenteiden lämpösäteilyn johdosta lumi sulaa ja kostuttaa rakenteita. Sateen osuessa maahan, osa siitä roiskuu maasta rakenteiden alaosiin kastellen ja liaten rakenteiden pintaa. Osa vedestä valuu maanpintaa pitkin pintavetenä, mutta osa imeytyy maahan vajovetenä, aiheuttaen kosteuskuormitusta rakennusten perustuksille ja kellaritiloihin. (Björkholtz, Dick 1997, 40; Siikanen, Unto 1996, 52.)

Pystysateelta, ja suurimmaksi osaksi viistosateeltakin, pystyy suojautumaan tarpeeksi leveillä räystäillä ja huolellisella julkisivurakenteiden viimeistelyllä. Esi-merkiksi ikkunapeltien oikeanlaisella asennuksella ja sokkelin ja ylemmän seinärakenteen liitoskohdan oikealla toteutuksella, saadaan roiskevedet valumaan varmasti pois rakenteista. Rakennusvaiheessa rakennusmateriaalit on suojattava yläpuoliselta sateelta ja varmistettava myös, että roiskevedet ja maan pintavesi eivät pääse kastelemaan kosteudelle herkkiä materiaaleja. (Björkholtz, Dick 1997, 40; Siikanen, Unto 1996, 52.)

2.1.2 Pohjavesi

Pohjavedellä tarkoitetaan maanpinnan alapuolista vettä, joka on imeytynyt syvälle maaperään maanpinnalle tulleesta sadevedestä tai muusta pintavedestä. Pohjaveden korkeus riippuu maanpinnalle tulevasta vuotuisesta veden määrästä ja maaperän huokoisuudesta. Hyvälaatuista pohjavettä ihmiset käyttävät juoma- ja talousvetenä kaivojen kautta. <URL:<http://www.ymparisto.fi>>

Rakentamisessa täytyy aina ottaa huomioon pohjaveden korkeus ja pyrkiä rakentamaan kellaritilat sen yläpuolelle. Jos pohjaveden pinnan alapuolelle on kuitenkin rakennettava, on vedeneristys tehtävä erityisen tarkasti ja on otettava huomioon veden- ja maanpaine. On myös huomioitava, että rakennuksen ympärillä olevassa maa-aineesa oletetaan RH:n olevan aina 100 prosenttia, koska lämmitetty rakennus lämmittää alla olevaa maata +12...+20 °C-asteeseen ja pohja- ja vajovesistä leviävä vesi kosteuttaa kuivempaa maa-ainesta kapillaarisesti ja hygrooskooppisesti, kasvattaen näin maaperän kosteutta. (Siikanen, Unto 1996, 52; URL:<http://www.tut.fi>)

2.1.3 Vuodot

Vuotoja aiheuttavat yleisimmin rakennusvaiheessa tapahtuvat virheet ja huolimattomuus. Yleisimpiä vuotopaikkoja rakennuksissa ovat kattojen, terassien, parvekkeiden ja märkätilojen huono vesieristys. Putkistoissa hiljalleen tapahtuvat vuodot ovat helposti korjattavissa, mutta ehkä hankalia huomata heti alkuvaiheessa. Nopeat vuodot, joissa putkistot rikkoutuvat kunnolla, aiheuttavat suuriakin vesivahinkoja, jotka tulevat kalliiksi. (Siikanen, Unto 1996, 52.)

2.1.4 Ilman kosteus

Kaikessa vedenpinnan yläpuolella olevassa ilmassa on vesihöyryä. Sisäilmassa, ulkoilmassa ja maan huokosissa olevassa ilmassa on vettä höyrymuodossa. Saman voisi sanoa toisinkin päin: tavallisessa vedessä, jota on meidän järvissä ja joissa, on aina jonkin verran ilmaa. Suurin osa rakennusmateriaaleistakin on huokoisia ja niiden huokosissa on ilmaa. Voisi sanoa, että rakennusmateriaalit ovat aina tekemisissä ilman ja kosteuden kanssa. Tärkeintä onkin saada rakennusmateriaalit toimimaan kosteusteknisesti oikein. (Björkholtz, Dick 1997, 43.)

”Kostea ilma on kahden kaasun, kuivan ilman ja vesihöyryn seos. Kuiva ilma koostuu pääasiallisesti typestä (78 tilavuus- %), hapestä (21 tilavuus- %) ja argonista (1 tilavuus- %). Kuivan ilman keskimääräinen moolipaino on $M_i = 28,96$ kg/kmol ja vesihöyryn moolipaino on $M_v = 18,02$ kg/kmol. Vesihöyry on kevyempi kaasu kuin kuiva ilma. Ilma on sitä kevyempää, mitä enemmän vesihöyryä se sisältää.” <Björkholtz, Dick 1997, 43.>

Taulukko 1. Ilman tiheyksiä. (Björkholtz, Dick 1997, 46.)

Ilman tiheys $\rho(\text{kg/m}^3)$			
$^{\circ}\text{C}$	Kuiva ilma		
	RH = 0 %	RH = 50 %	RH = 100 %
- 20	1.3950	1.3947	1.3944
- 10	1.3419	1.3413	1.3406
0	1.2928	1.2913	1.2898
+ 10	1.2471	1.2442	1.2413
+ 20	1.2045	1.2993	1.1940

Taulukosta 1 nähdään vesihöyryn vaikutus ilman tiheyteen ρ (kg/m^3). Esimerkiksi kun ilman lämpötila on nolla (0°C) on ilman tiheys kuivassa ilmassa (RH on 0 %) 1.2928 kg/m^3 , suhteellisen kosteuden RH ollessa 100 % on ilman tiheys laskenut arvoon 1.2898 kg/m^3 . Taulukosta voidaan kuitenkin huomata, että ilman kosteuden muutokset vaikuttavat tiheyteen vähemmän kuin lämpötilan muutokset. Lämpötilan kasvaessa -20°C :sta $+20^{\circ}\text{C}$:een, laskee ilman tiheys kuivassa ilmassa 1.3950 kg/m^3 tiheydestä 1.2045 kg/m^3 tiheyteen.

Tämä päätelmä on hyödyllinen rakennustekniikassa ja auttaa ymmärtämään kuinka kosteus käyttäytyy ilmassa. Ilman kosteuskäyttäytymisessä on kolmaskin iso osatekijä; lämpö. Ilman lämpötila vaikuttaa siihen, miten paljon ilma voi sisältää vesihöyryä. Mitä lämpimämpää ilma on sitä enemmän vesihöyryä voi ilmassa olla. Ilmankosteutta voidaan mitata vesihöyrymääränä, joka ilmaistaan kg/m^3 , kg/kg kuivaa ilmaa, vesihöyryn osapaineena (Pa) tai suhteellisenä kosteutena (%). (Siikanen, Unto 1996, 54.)

Kosteustarkasteluissa käytetään yleisesti peruslakina niin kutsuttua kaasujen tilan yhtälöä (Björkholtz, Dick 1997, 43.):

$$p \cdot V = m/M \cdot R \cdot T \quad (1)$$

jossa p = kaasun paine (Pa)

V = kaasun tilavuus (m^3)

m = kaasun massa (kg)

M = kaasun molekyylipaino (kg/mol)

R = yleinen kaasuvakio 8314,3 (J/kmol $^\circ$ K)

T = lämpötila ($^\circ$ K)

Vesihöyryn osapaineella tarkoitetaan vesihöyryn aiheuttamaa painetta ilmassa. Tähän paineeseen kasvattavasti vaikuttaa vesihöyryn määrä ja lämpötilan nousu ilmassa. Suhteellisella kosteudella RH ilmaistaan kosteusmäärän suhdetta kyllästyskosteuteen. Sama suhde saadaan myös vesihöyrynpaineen ja kyllästyspaineen suhteesta ja se ilmaistaan yleensä prosentteina. Kyllästyskosteus on tila, jossa ilmassa on tietyssä lämpötilassa enimmäismäärä vesihöyryä. Tällöin suhteellinen kosteus RH on 100 %. Nostettaessa lämpötilaa mahtuu vesihöyryä samaan tilavuuteen enemmän, ennen kuin kyllästyskosteus saavutetaan. Lämpötilaa, jossa ilmassa oleva vesihöyry muuttuu vedeksi eli kondensoituu kiinteän materiaalin pintaan, kutsutaan kastepisteeksi. Tällöin senhetkinen ilmankosteus saavuttaa kyllästyskosteuden. Kyllästyspaine on suoraan yhteydessä kyllästyskosteuteen; kun vesihöyryn aiheuttama paine ilmassa saavuttaa maksimitasonsa on ilma kyllästyspaineessa. Ilman ominaisuuksia lämpötilan mukaan normaalipaineessa kuvataan taulukossa 2. (Björkholtz, Dick 1997, 43–45; Siikanen, Unto 1996, 54–55.)

Taulukko 2. Ilman ominaisuuksia normaali-ilmakehän paineessa 101325 Pa. (Björkholtz, Dick 1997, 44.)

t °C	v_k g/m ³	p_k Pa	t °C	v_k g/m ³	p_k Pa	t °C	v_k g/m ³	p_k Pa
—20	0,87	102	14	12,10	1602	48	75,67	11207
—19	0,95	111	15	12,86	1708	49	79,33	11786
—18	1,04	122	16	13,65	1820	50	83,14	12390
—17	1,14	135	17	14,49	1939	51	87,10	13020
—16	1,25	149	18	15,37	2064	52	91,21	13677
—15	1,38	164	19	16,30	2197	53	95,48	14362
—14	1,52	181	20	17,28	2337	54	99,92	15075
—13	1,67	200	21	18,31	2484	55	104,5	15818
—12	1,83	221	22	19,40	2640	56	109,3	16592
—11	2,01	242	23	20,54	2805	57	114,2	17397
—10	2,20	266	24	21,74	2979	58	119,4	18234
—9	2,40	292	25	23,00	3162	59	124,7	19105
—8	2,61	319	26	24,32	3355	60	130,2	20010
—7	2,84	348	27	25,71	3559	61	135,9	20951
—6	3,08	379	28	27,17	3773	62	141,9	21928
—5	3,33	412	29	28,70	3999	63	143,0	22943
—4	3,60	447	30	30,31	4237	64	154,3	23997
—3	3,89	485	31	31,99	4487	65	160,9	25090
—2	4,19	524	32	33,75	4750	66	167,7	26224
—1	4,51	566	33	35,60	5027	67	174,7	27401
0	4,85	611	34	37,54	5317	68	181,9	28620
1	5,21	658	35	39,56	5622	69	189,4	29884
2	5,58	708	36	41,68	5940	70	197,1	31194
3	5,98	762	37	43,89	6278	71	205,1	32551
4	6,40	818	38	46,21	6631	72	213,3	33956
5	6,84	878	39	48,63	7000	73	221,8	35410
6	7,31	941	40	51,16	7388	74	230,6	36915
7	7,80	1008	41	53,79	7793	75	239,6	38471
8	8,32	1079	42	56,54	8218	76	248,9	40082
9	8,87	1154	43	59,41	8663	77	258,5	41747
10	9,45	1234	44	62,40	9127	78	268,4	43468
11	10,06	1318	45	65,52	9614	79	278,6	45247
12	10,71	1408	46	68,77	10122	80	289,1	47084
13	11,38	1502	47	72,15	10653			

Taulukosta 2 voidaan lukea ilman kyllästyskosteus v_k (g/m³) ja kyllästyspaine p_k (Pa) tietyssä lämpötilassa t (°C). Esimerkiksi ilman lämpötilan ollessa nolla (0 °C) mahtuu ilmaan 4,85 g/m³ vesihöyryä ja tällöin vesihöyryn kyllästyspaine on 611 Pa.

2.1.5 Rakennekosteus

Rakenteissa saattaa myös olla kosteutta, joka on ollut niissä jo rakentamisvaiheen aikana. Huokoiset rakennusmateriaalit, kuten puu, mineraalivilla tai betonihiharkko, imevät itseensä vettä ympäriltään, jos ympäristö on kosteampaa kuin materiaali itse. Siksi rakennusvaiheessa on tärkeää suojata rakennusmateriaalit sateelta ja muulta vesikosketukselta, etteivät ne pääse kostumaan. Jos materiaalit kuitenkin pääsevät kostumaan, on huolehdittava riittävästä kuivatuksesta, ennen kuin kyseisten rakennusmateriaalien päälle asennetaan vettä läpäisemätön kerros, joka

estää kuivumisen. On myös rakenteita, joissa itsessään on kosteutta valmistusvaiheesta asti, kuten betoni. Betonin valmistuksessa käytetään vettä ja ennen kuin betoni on täysin kovettunut, sisältää se vielä paljon ylimääräistä kosteutta. Jos paikalla valetun betonirakenteen päälle asennetaan muita kuivia rakenteita ennen kuin betoni on ehtinyt kokonaan kuivua, imeytyy siitä kapillaarisesti vettä muihin rakenteisiin. (Björkholtz, Dick 1997, 51; Siikanen, Unto 1996, 61.)

2.2 Kosteuden siirtyminen

2.2.1 Kapillaarisuus

Materiaalin ollessa kosketuksissa veteen, pyrkii se kapillaariseen tasapainokosteuteen imemällä nestettä itseensä, kunnes materiaalin huokoset ovat täynnä tai kapillaarisella imulla ei ole enempää tehoa. Kosteuden siirtyessä materiaalien huokosissa nesteenä tapahtuu kapillaarista vedenliikettä. Riippuen materiaalin tai maaperän koostumuksesta, sillä on niin sanottu kapillaarinen imu. Rakennusaineista, esimerkiksi puulla, tiilellä ja betonilla on tällaista niin sanottua huokosalipainetta, joka rakenteissa saa aikaan veden ja kosteuden kulkeutumista rakennusaineista toiseen. (Siikanen, Unto 1996, 53.)

”Veden haitallinen kapillaarivirtaus rakenteeseen tai rakenteessa estetään salaojituskerroksilla ja kosteuden- tai vedeneristyksillä.” <RakMK C2 1999, 13.>

Rakentamisvaiheessa pyritään aina estämään kapillaarinen nousu katkaisemalla sen mahdollinen reitti vettä läpäisemättömällä materiaalilla, kuten bitumilla tai kumilla. Kapillaarista veden siirtymistä rakenteisiin tapahtuu maaperän kosteuden ja pohjavesien, sateen tai lumen sulamisesta johtuvan pintaveden kautta. Ensin vettä imeytyy perusmuuriin ja muihin maakosketuksessa oleviin rakenteisiin, josta se nousee ylempiin rakenteisiin, ellei sitä estetä esimerkiksi bitumikernikaistalla. Kosteuden määrää voidaan myös vähentää salaojittamalla rakenteiden ympäristö ja tekemällä kapillaarikatko perustusten alle eli perustusten alle laitetaan vähintään 200 mm soraa tai muuta karkeajakoista maa-ainesta, josta hienojakoinen maa-aines on poistettu. Näin vesi ei pääse nousemaan kapillaarisesti perustuksiin. (Siikanen, Unto 1996, 53.)

2.2.2 Hygroσκοoppinen kosteus

Huokoinen aine pystyy sitomaan itseensä kosteutta ilmasta ja luovuttamaan sitä myös takaisin ilmaan. Tällaista ilmiötä kutsutaan hygroσκοoppisuudeksi. Hygroσκοoppinen materiaali pyrkii tasapainokosteuteen ympäristönsä kanssa, jolloin jos ilmassa on enemmän kosteutta kuin materiaalissa, sitoo materiaali kosteutta ilmassa itseensä. Kun ilmasta kosteus taas häviää, esimerkiksi tilan tuuletuksen myötä, luovuttaa materiaali osan kosteudestaan ilmaan, pyrkien näin jälleen tasapainoon ympäristönsä kanssa. Eri materiaalien hygroσκοoppisuus vaihtelee suuresti, esimerkiksi puu materiaalina on hyvin hygroσκοoppinen. Materiaalit kostuvat eli absorboivat kosteutta ja kuivuvat eli desorptoivat kosteutta eri nopeudella, näitä prosesseja kuvataan sorptio- eli tasapainokäyrillä. Tätä aineiden kykyä sitoa ja luovuttaa kosteutta kutsutaan kosteuskapasiteetiksi. Vesihöyry on ainoa kaasu joka on hygroσκοoppinen, muut kaasut eivät pysty sitoutumaan materiaaliin, mutta pystyvät siirtymään materiaalin läpi diffuusion avulla. (Björkholtz, Dick 1997, 59–60; Siikanen, Unto 1996, 53–54; URL:<http://fi.wikipedia.org/> 10.2.2010.)

2.2.3 Diffuusio

Kaasujen osapainelain mukaan, epämääräisesti jakautuneessa kaasuseoksessa kaasumolekyylit pyrkivät jakaantumaan tasaiseksi kaasuseokseksi eli tapahtuu diffuusio, jossa kaasu siirtyy korkeammasta pitoisuudesta alempaan pitoisuuteen. Tarkasteltaessa diffuusiota kosteustekniikan kannalta, rakennustekniikassa se on silloin vesihöyryn siirtymistä rakenteen läpi. Yleensä diffuusion suunta on lämpimämmästä ilmasta kylmempään, mutta joskus kylmemmän tilan kosteuspitoisuus on korkeampi kuin lämpimän ja silloin suunta on päinvastainen eli kylmästä lämpimään. (Siikanen, Unto 1996, 56.)

Vesihöyryn liiallinen tunkeutuminen rakenteisiin voi aiheuttaa kosteusvaurioita. Seinärakenteiden suunnittelu on tehtävä siten, että rakennuksen ulkopuolelta rakenteisiin imeytyvä kosteus pääsee riittävästi kuivumaan, jottei se tiivistyisi rakenteiden sisään ja sisällä kehittyvä vesihöyry ei pääsisi tunkeutumaan rakenteiden läpi ulospäin. Tällainen tilanne saavutetaan kun rakenteen, oli se sitten lattia-, seinä- tai yläpohjarakenne, lämpimälle puolelle asennetaan vesihöyryä läpäisemä-

tön kerros lämmöneristyksen ja pintaverhouksen väliin, jolloin vesihöyry ei pääse tunkeutumaan lämmöneristykseen. Näin rakenteen vesihöyrynvastus pienenee kylmään tilaan päin siirryttäessä ja rakenne pääsee tuulettumaan ulospäin. Jos ulkopintamateriaali ei ole vesihöyryä hyvin läpäisevä, on järjestettävä erillinen tuuletus sen rakenteen taakse, jotta lämmöneriste pääsee kuivumaan. (Siikanen, Unto 1996, 56.)

Diffuusiolla siirtyvän kosteuden määrä g voidaan laskea kahdella eri tavalla, kosteuseron kautta laskettaessa (Björkholtz, Dick 1997, 55.):

$$g = \delta_v \cdot \Delta v / \Delta x \quad (2)$$

jossa δ_v = vesihöyryn läpäisevyys (kg/ms)/(kg/m³) = (m²/s)

Δv = kosteusero matkalla x (kg/m³)

Δx = diffuusiomatka (m)

Kosteuden määrä g voidaan laskea myös osapaine-eron kautta (Björkholtz, Dick 1997, 55.):

$$g = \delta_p \cdot \Delta p / \Delta x \quad (3)$$

jossa δ_p = vesihöyryn läpäisevyys (kg/msPa)

Δp = vesihöyryn osapaineen ero matkalla x (Pa)

Δx = diffuusiomatka (m)

Vesihöyryn läpäisevyysarvojen δ_v ja δ_p välillä vallitsee yhteys (Björkholtz, Dick 1997, 55.):

$$\delta_v = 461,4 \cdot (273+T) \cdot \delta_p \quad (4)$$

jossa T = lämpötila celsiusasteina (°C)

Vesihöyrynläpäisevyys kertoo aineen ominaisuudesta läpäistä vesihöyryä tietyn paksuisena. Laskettaessa kosteuden liikkumista seinä rakenteessa on otettava huomioon rakennusmateriaalien vesihöyrynläpäisevyydet. Ne muuttuvat aineen kosteuspitoisuuden muuttuessa, mutta diffuusiolaskelmissa oletetaan vesihöyrynläpäisevyydet vakioksi. Kuten kaavoista 2-4 ilmenee, diffuusiolaskelmat voivat

perustua joko vesihöyryn osapaine-eroihin tai vesihöyryn määrällisiin eroihin. (Björkholtz, Dick 1997, 55; Siikanen, Unto 1996, 57.)

Vesihöyrynvastus kuvaa nimensä mukaisesti aineen ominaisuutta vastustaa vesihöyryn kulkua sen läpi ja on eräänlainen käännteinen suure vesihöyrynläpäisylle. Yhden homogeenisen ainekerroksen vesihöyrynvastus saadaan kaavasta (Siikanen, Unto 1996, 58.):

$$Z = d / \delta_p \quad (5)$$

Jossa Z = vesihöyrynvastus ($\text{m}^2\text{sPa/kg}$)

d = homogeenisen ainekerroksen paksuus (m)

δ_p = vesihöyryn läpäisevyys ($\text{kg/msPa} = \text{s}$)

Taulukot 3. (vasemmalla) ja 4. (oikealla) Rakennusaineiden vesihöyryn läpäisevyyksiä δ_p ja -vastuksia Z_p . (Björkholtz, Dick 1997, 56.)

Aine	Tiheys kg/m ³	δ_p (10 ⁻¹² kg/m·s·Pa)
Ilma		185
Betoni	2300	2...10
S-laasti	2000	2...10
KS-laasti	1800	6,5...17
K-laasti	1700	15...20
Kaasubetoni	650...400	15...42
Kevytsementibetoni	700...500	20...42
Kalkkihiekkatili	1800	10...20
Punatiili	1800...1200	10...42
Kuusi, mänty	500	1...3
Lastuvillalevy	500...250	35...100
Mineraalivilla	200...17	85...125
Solupolystyreeni	60...15	1,2...7
Solupolyuretaani	60...37	0,1...1,2
Kuitusementtilevy	1600...1300	2...5
Bitumilla kyllästetty huokoinen kuitulevy	350...270	15...23
Lastulevy	750...600	3...7
Huokoinen puukuitulevy	350	20...40
Puolikova puukuitulevy	800...600	4,4...7,1
Kova puukuitulevy	1050...800	4,2...6,1
Kipsilevy	770	10...20

Aine	Paksuus	Z_p (10 ⁹ m ² s·Pa/kg)
Kipsilevy	13 mm	n. 0,75
Lastulevy	13 mm	1,8...4,3
Huokoinen puukuitulevy	13 mm	n. 0,5
Puolikova ja kova puukuitulevy	3,2 mm	0,5...0,8
Bitumilla kyllästetty huokoinen kuitulevy	15 mm	0,6...1,0
Muovikalvo, polyeteeni	0,09 mm	n. 200
"	0,15 mm	n. 345
"	0,20 mm	n. 450
"	0,30 mm	n. 700
Kattohuopa		500...10000
Bitumikerros		500...1000
PVC-matto	2—3 mm	55...80
Maaleja		
Akryylilatem	100...200 µm	2,5...4,0
PVA-latex	100...120 µm	1,0...1,4
Alkydi	90...120 µm	9,5...16,0
Kloorikautsu	40...50 µm	4,7...8,0
Polyuretaani	30...40 µm	11,5...16,0
PVC	30...40 µm	6,0...9,0
Silikaatti	80...100 µm	0,7...0,8

Taulukossa 3 kerrotaan yleisten rakennusaineiden tiheyksiä (kg/m³) ja vesihöyryn läpäisevyyksiä δ_p (10⁻¹² kg/m·s·Pa). Esimerkiksi huokoisella puukuitulevyllä on suuri vesihöyryn läpäisevyys suhteessa tiheyteen, kun taas betonilla on hyvin pieni vesihöyryn läpäisevyys suhteessa sen korkeaan tiheyteen. Taulukossa 4 kerrotaan yleisten eri paksuisten, rakennusaineiden ja pintamateriaalien vesihöyryn vastuksista Z_p (10⁹ m² s·Pa/kg). Esimerkiksi kattuhuovalla on erittäin suuri vesihöyrynvastus suhteessa paksuuteen, kun taas huokoisella puukuitulevyllä vesihöyrynvastus on pieni verrattuna paksuuteen.

Haluttaessa tietää diffuusiokosteuden liikkeistä ja mahdollisesta vesihöyryn tiivistymisestä rakenteessa, on selvitettävä rakenteen eri osien lämpötilat, lämpötiloja vastaavat kyllästyspaineet, eri ainekerrosten vesihöyrynvastukset ja ilman suhteellinen kosteus rakenteen eri kerrosten rajapinnoissa. Kun selvitetään vielä vesihöyryn osapaine ja verrataan sitä kyllästyspaineeseen, voidaan arvioida, tiivistyykö johonkin rajapintaan kosteutta. Vesihöyryn osapaineiden ollessa pienempiä kuin kyllästyspaineet koko rakenteessa, ei tiivistymistä tapahdu. (Björkholtz, Dick 1997, 55–57; Siikanen, Unto 1996, 57–58.)

Ennen rakennettiin puutaloja, jotka oli tarkoitettu ”hengittäviksi”. Niissä höyrynsulkua ei käytetty, vaan kosteuden ja muiden kaasujen, kuten hapen ja hiilidioksidin annettiin siirtyä vapaasti seinärakenteen läpi. Tämä ratkaisu toimi silloin, kun eristysvaatimukset eivät olleet niin tiukat ja lämmönhukkaa ei pyritty vähentämään niin voimakkaasti kuin nykyään. Tällä hetkellä suuntauksena ovat täysin tiiviit rakennukset, joissa ilman laatua, ilman kosteutta ja lämpötilaa säädetään koneellisesti.

2.2.4 Vesihöyryn konvektio

Konvektiossa vesihöyryä siirtyy kaasuseoksen, esimerkiksi ilman mukana sen liikkeessa kokonaispaine-eron vaikutuksesta. Konvektiovirtausta tapahtuu joko luonnollisena konvektiona, jolloin ilmavirran liikkeen saa aikaan ilman tiheyserot, jotka johtuvat lämpötilaeroista tai sitten pakotettuna konvektiona, jolloin ilmavirran liike tapahtuu pakotettuna rakojen ja halkeamien läpi ilmanpaine-erojen johdosta. Tällaista saa aikaan esimerkiksi ulkona tuuli tai rakennuksen sisällä koneellinen ilmanvaihto ja tuuletus. (Björkholtz, Dick 1997, 57–58; Siikanen, Unto 1996, 56.)

Rakentamisessa vesihöyryn konvektiolla on suuri merkitys silloin kun höyrynsulkua ei ole asennettu oikein. Jos höyrynsulkuun jää rakoja ja reikiä, pääsee lämmin sisäilma vuotamaan kylmään ulkoilmaan niiden kautta ja samalla voi kulkeutua suuria määriä vesihöyryä lämpimän sisäilman mukana. Ilmavirran jäähtyessä vesihöyry tiivistyy kosteudeksi rakennekerrosten pintaan ja saattaa keräytyä rakenteisiin haitallisessa määrin. (Björkholtz, Dick 1997, 58; Siikanen, Unto 1996, 56.)

”Sisäilman vesihöyryn haitallisen konvektion estämiseksi tulee rakennuksen vaiipan ja sen yksityiskohtien olla niin tiiviitä läpikulkevien ilmavuotojen suhteen, että syntyy edellytykset pitää rakennus pääsääntöisesti alipaineisena. Rakennuksen ulkopinnan ja sen yksityiskohtien tulee estää veden ja lumen haitallinen tunkeutuminen rakenteisiin myös tuulen vaikutuksesta.” <RakMK C2 1999, 12.>

Jos tiedetään ilmamäärä, joka kulkee raon tai reiän läpi, saadaan kosteusvirta g (Björkholtz, Dick 1997, 58.):

$$g = v \cdot Q \quad (6)$$

Jossa v = ilman vesihöyrypitoisuus (kg/m^3)

Q = läpi virtaava ilmamäärä (m^3/s)

Huokoisissa materiaaleissa konvektiota tapahtuu rakenteen läpi, vaikka siinä ei mitään rakoja tai reikiä olisikaan. Se on kuitenkin reikien ja rakojen läpi tapahtuvaan konvektioon verraten hyvin vähäistä. Kokonaisvaltaisesti konvektiovirtausten laskeminen tarkasti on hyvin vaikeaa, sillä rakojen ja reikien määrää ja kokoa on yleensä vaikea määrittää etenkin kerroksellisissa ja epähomogeenisissa rakenteissa. (Björkholtz, Dick 1997, 58; Siikanen, Unto 1996, 56.)

2.2.5 Kondensoituminen

Kondensoitumisessa vesihöyry tiivistyy vedeksi jonkin kiinteän materiaalin pinnalle tai sen sisälle. Tiivistymistä tapahtuu, kun ilman suhteellinen kosteus eli RH on 100 %. Rakenteen tai huokosseinämän pinnalle vettä tiivistyy silloin, kun materiaalin pinnan lämpötila alittaa ympäröivän ilman kastepistelämpötilan. Jotta rakenteen pinnalle ei tiivistyisi kosteutta, tulee pintalämpötilan olla suurempi kuin ympäröivän ilman kastepistelämpötilan (Björkholtz, Dick 1997, 64.):

$$t_p > t_{kp} \quad (7)$$

jossa t_p = pintalämpötila

t_{kp} = ympäröivän ilman kastepistelämpötila

Materiaalin pintalämpötilan voi mitata nykyään varsin tarkasti siihen tarkoitettulla mittarilla ja sisäilman kastepistelämpötila saadaan taulukosta 2. Vesihöyry voi myös tiivistyä rakenteen pintaan ensin kuljettuaan sen läpi joko diffuusiolla tai konvektiovirtausten avulla. (Björkholtz, Dick 1997, 64; Siikanen, Unto 1996, 57.)

Kondensoitumista tapahtuu myös rakenteiden sisälle, jolloin sitä ei yleensä huomata ennen kuin vakava kosteusvaurio on jo tapahtunut. Materiaalin tai rakenteen

sisällä vesihöyry liikkuu joko diffuusion tai konvektion avulla, mutta se kondensoituu nestemäiseen muotoon niissä kohdissa, joissa vesihöyryn osapaine ylittää tämän kohdan lämpötilaa vastaavan kyllästyspaineen. Aina ei voida kondensoitumista rakenteen sisällä välttää, mutta rakenne on suunniteltava siten, että kosteuspitoisuus vuosien mittaan ei yhtäjaksoisesti kasva, vaan rakenne pääsee kuivumaan välillä. (Björkholtz, Dick 1997, 64; Siikanen, Unto 1996, 57.)

2.3 Kosteuden vaikutus rakenteisiin

Normaalioloissa ilmassa on aina jonkin verran kosteutta ja ihmisille se on hyvä asia. Suositeltava kosteuspitoisuus sisäilmalle on RH 20...60 % (Asumisterveysohje 2003, 20.). Oikein kuivassa ilmassa on epämukava olla, iho kuivuu ja silmiä voi kirvellä. Rakennukselle itselleen kuiva ilma olisi kuitenkin kestävyys- ja säilyvyyden kannalta parempi. Rakennuksen ympärillä olevasta ilmakehän kosteudesta johtuen rakenteissakin on kosteutta. Huokoiset rakennusmateriaalit imevät kosteutta itseensä hygroskooppisesti ja luovuttavat sitä takaisin ilmaan, jos ilma ympärillä muuttuu kuivemmaksi. Ilman suhteellisen kosteuden kasvaessa suuremmaksi, sillä on kuitenkin negatiivisia vaikutuksia rakenteisiin monella tapaa. Eri rakennusmateriaalit reagoivat kosteuden lisääntymiseen eri tavoilla. Nämä kaikki muodonmuutokset ja reaktiot on otettava rakennuksen suunnittelussa huomioon.

Jokaisella rakennusaineella on oma kriittinen kosteusraja. Tällä tarkoitetaan suhteellisen kosteuden ylärajaa, jossa kyseinen rakennusaine vielä pystyy toimimaan halutulla tavalla, eikä kosteudesta aiheutuvia vaurioita synny. Jotta rakennuksen eri rakenteet pysyisivät kunnossa, on ilman suhteellisen kosteuden pysyttävä rakennusaineiden kriittisen kosteuden alapuolella. (Björkholtz, Dick 1997, 60.)

2.3.1 Puurakenteet ja kosteus

Kosteuden määrän muuttuminen huokoisissa rakennusmateriaaleissa saa aikaan muodonmuutoksia rakenteissa. Erityisesti puuperäiset rakennusmateriaalit laajenevat imiessään kosteutta itseensä ja kutistuvat kuivuessaan. Esimerkiksi tuore juuri kaadettu mäntypuu kutistuu kuivuessaan vedettömäksi pituussuunnassa 0,2-0,3 %, tangentin suunnassa 8 % ja säteen suunnassa noin 4 %. Tilavuudesta kutis-

tumista tapahtuu noin 12 %. Erilaiset puuperäiset rakennusmateriaalit, kuten vane-rit ja levyt saattavat kostuessaan kupruilla ja mennä kiereen. Kuivuessaan puu yleensä palautuu takaisin alkuperäiseen muotoonsa, mutta saattaa myös jäädä kie-roon, jos materiaali on esimerkiksi yhdistelmä kahta eri puuta tai muuta ainesta. (Siikanen, Unto 1996, 62–63.)

Kosteuden lisääntyminen puuperäisten rakennusaineiden ympärillä yli puun kriit-tisen suhteellisen kosteuden, joka on noin 80 %, saa aikaan otolliset kasvuolosuh-teet erilaisille sienikasvustoille, jotka alkavat lahottaa puuta. Sienikasvustot hei-kentävät puun kestävyyttä tuhoamalla puun pääasiallisia rakennusosia; selluloo-saa, hemiselluloosaa ja ligniiniä ja lopulta tuhoavat puun rakenteen kokonaan, jos olosuhteet pysyvät sienikasvuston kasvulle otollisina. Sienikasvustojen lahottamat puurakenteet ovat myös alttiimpia home- ja sinistäjäsenille, jotka eivät välttämät-tä aiheuta rakenteellista heikentymistä, mutta pilaavat puurakenteiden ulkonäköä värimuutoksilla ja ovat muuten haitallisia ihmisille. (Björkholtz, Dick 1997, 60; Siikanen, Unto 2001, 25.)

Homevaurioita rakennuksissa tutkitaan yhä enemmän niiden ihmisille aiheuttami-en sairauksien ja allergiareaktioiden takia. Ihmisen oleskellessa pitkiä aikoja tilas-sa jossa on hometta, aiheuttaa se ihmiselle allergiatyyppejä oireita, kuumeilua ja hengitystiesairauksia. Vielä ei ole täysin selvää, mikä homeessa aiheuttaa kyseisiä reaktioita. (Siikanen, Unto 1998, 61.)

Homesienien kasvuympäristön optimilämpötila on yleensä +30 - +35 °C, mutta sienilajikkeesta riippuen kasvua voi tapahtua kaikkialla 0 °C:sta +55 °C:een. Puun oma kosteuspitoisuus painoprosenteissa voi olla 20–150 %, jolloin homesienet pääsevät itämään ja kasvamaan. Tärkein vaikuttaja on kuitenkin rakennetta ympär-öivän ilman suhteellinen kosteus, jonka on oltava pysyvästi tai hyvin pitkän aikaa korkealla. RH:n ollessa yli 75–95 % on homekasvu mahdollista riippuen lämpöti-lasta ja muista olosuhteista. Mitä korkeampi kosteus ja lämpötila sitä paremmat kasvuolot homekasvustolle on ja sitä nopeammin se kasvaa. Sinistäjäsenet eivät ole niin haitallisia ihmisille kuin homesienet, mutta aiheuttavat enemmänkin es-teettistä haittaa rakenteille muuttamalla niiden väriä. Sinistäjäsenet saattavat hi-

dastaa puurakenteiden kuivumista ja näin lisäävät lahottajasienien tartuntamahdollisuutta. (Siikanen, Unto 1998, 61.)

2.3.2 Betonirakenteet ja kosteus

Betonia syntyy sementin, kiviaineksen ja veden yhteisestä kovettumisreaktiosta. Sementti ja vesi yhdessä muodostavat eräänlaisen sementtiliiman, johon kiviaines sitoutuu kiinni ja massa kovettuu veteen liukenemattomaksi betoniksi. Jos vettä käytetään liikaa valmistusvaiheessa, saa sementin kanssa sitoutumaton vesi aikaan kapillaarihuokoisuutta, joka heikentää betonin lujuutta ja kasvattaa vedenläpäisevyyttä. Betoni tarvitsee valamisen jälkeen aikaa kovettua ja kuivua, eikä kuivuminenkaan saisi tapahtua liian nopeasti. Jos valetun betonirakenteen päälle asennetaan liian aikaisin muita rakenteita, siirtyy betonista kapillaarisesti vettä päällä oleviin rakenteisiin. Rakennusvaiheessa betoni aiheuttaakin monesti ongelmia hitaan kuivumisprosessin takia. Rakennus haluttaisiin saada nopeasti valmiiksi, mutta töissä ei päästä etenemään ennen kuin betoni on riittävästi ehtinyt kuivua. (Siikanen, Unto 2001, 138–141.)

Valmiissakin rakennuksessa on huolehdittava betonirakenteiden kosteudesta. Rakennuksen perusmuuri on yleensä tehty betonista ja sillä on taipumus imeä itseensä vettä kapillaarisesti maasta tai kosteutta voi siirtyä hygroskooppisesti betonin pyrkiessä tasapainokosteuteen. Betonirakenteiden ja muun materiaalin väliin onkin suositeltavaa asentaa vettä läpäisemätön kerros, joka katkaisee kosteuden siirtymisen eteenpäin. Liiallinen rakennekosteus ja ulkoisista kosteusrasituksista peräisin oleva kosteus saattavat talvipakkasilla saada aikaan pakkasrapautumista. Betonissa oleva vesi laajenee jäätyessään noin 9 % aiheuttaen sisäisiä jännityksiä, jotka tarpeeksi suurina saavat betonirakenteessa aikaan halkeamia ja irtoavia palasia ulkokuoresta. Pakkasrapautuminen nopeuttaa myös betonin karbonatisoitumista. (Siikanen, Unto 2001, 149.)

Nykyään betonirakenteissa käytetään lähes poikkeuksetta raudoituksia antamaan betonille vetolujuutta, jota sillä yksistään ei juuri ole. Betoni suojaa teräksiä korroosiolta muodostamalla terästen pintaan oksidikalvon korkean alkalisuutensa johdosta ($\text{pH} > 12,5$) eli teräs passivoituu. Paksu betonikerros suojaa myös teräk-

siä korroosiota aiheuttavilta aineilta. Betonissa tapahtuu kuitenkin karbonatisoitumista, joka on kemiallinen reaktio, jossa ilman hiilidioksidi tunkeutuu betoniin, alentaen betonissa olevan huokosveden pH-arvoa. Rakenteessa oleva kosteus ja teräksiin asti edennyt karbonatisoituminen aiheuttavat yhdessä teräksiin korroosiota. Teräksien pintaan kehittyvä ruoste aiheuttaa tilavuuden muutoksen, jonka paineesta betonipeite halkeaa tai lohkeaa. On siis erittäin tärkeää huolehtia, että betonirakenteilla on oikeanlainen kosteuskäyttäytyminen. (Siikanen, Unto 2001, 162.)

Korkea veden määrä betonissa ja sen ympärillä saattaa aiheuttaa myös betonirakenteen homehtumista. Vaikkakin betoni itsessään kestää hyvin homehtumista, saattaa sen pinnassa olevat orgaaniset aineet, kuten puupuru tai ilmasta kerääntyvä lika luoda sopivat olosuhteet homesienien kasvuille. VTT:n tutkimuksen mukaan, betoni rakennusmateriaalina kestää hometta varsin hyvin. Tiiviissä puhtaassa betonirakenteessa homeen kasvu oli varsin vähäistä ja ilman suhteellisen kosteuden piti olla yli RH 97–98 % pitkän aikavälin ajan, jotta homeen kasvua tapahtui. Tiiviissä betonirakenteessa olevan orgaanisen ainekerroksen huomattiin kuitenkin olevan herkempi homekasvustolle. Huokosilman kosteustason ollessa yli RH 80–90 %, mikrobi- ja homekasvua oli jo havaittavissa. Vapailla betonipinnoilla, joihin on mahdollista kertyä orgaanista pölyä ja muuta likaa, home- ja mikrobikasvu voi alkaa nopeammin ja olla laajempaa kuin tiiviissä betonirakenteessa. Puhtailla betonipinnoilla, jotka olivat vapaasti kosketuksissa ilmaan, kriittisen rajakosteuden oli oltava yli RH 88–90 % ja likaisilla betonipinnoilla, joilla oli orgaanista puupurua tai pölyä, oli RH:n oltava yli 78–80 %, jotta homekasvusto pääsi betonin pinnalla kasvamaan. Betonin kuivuessa homekasvustot hidastuivat ja lopulta pysähtyivät kokonaan. Tästä voimme päätellä, että betoni itsessään ei ole otollinen kasvualusta homesienille, mutta ajan kuluessa betonirakenteiden pinnalle väistämättä kertyy orgaanista likaa, jossa home pääsee kasvamaan, jos vain lämpötila ja ilmakeuhkus ovat sopivia. <<http://www.vtt.fi>>

2.3.3 Teräsrakenteet ja kosteus

Teräs on pohjimmiltaan rautametallia, johon on lisätty muita aineshiukkasia parantamaan sen kestävyyttä, hitsattavuutta ja korroosion kestoja. Korroosiossa metalli syöpyy sähkökemiallisten reaktioiden seurauksena. Rauta esiintyy luonnossa oksideina, mihin muotoon se pyrkii takaisin, jos vain olosuhteet ovat sopivat. Teräsrakenteet alkavat ruostua eli hapettua, kun niiden ympäristö on kostea. Kuivassa sisätilan ilmassa teräs pysyy kyllä kunnossa, jos se ei pääse kosketuksiin veden tai muun rakennekosteuden kanssa. Ulkona suojaamaton teräs ruostuu noin 0,1-0,2 mm vuorokaudessa olosuhteista riippuen. Rauta- ja teräsrakenteiden kriittisenä kosteutena voidaan pitää ilman suhteellista kosteutta 65–75 %. Tämän ylityessä rauta alkaa ruostua ja lämpötilan noustessa ruostumisreaktiot vielä kiihtyvät. Kovilla pakkasilla veden jäätyessä myös ruostuminen pysähtyy. Ruostumatomat teräkset kestävät nimensä mukaisesti ruostumista niiden valmistuksessa lisätyn kromin takia. Kromi muodostaa teräksen pintaan suojaavan oksidikalvon. Ruostumatonta terästä on kuitenkin selvästi kalliimpaa verrattuna tavalliseen teräkseen. (Siikanen, Unto 2001, 182.)

3 KOSTEUSTEKNISET TUTKIMUKSET

Vääränlainen rakennuksen kosteuskäyttäytyminen aiheuttaa rakenteiden turmeltumista nopeasti tai pitkällä aikavälillä, riippuen vaurion luonteesta. Nopeasti tapahtuvat kosteusvauriot tai suoranaiset vesivahingot huomataan yleensä jo vahingon tapahduttua. Silloin kosteusvauriotutkimuksia tarvitaan selvittämään vaurion laajuus ja kuinka se saadaan korjattua niin, ettei vastaavaa tapahdu toista kertaa. Hitaasti ilmeneviä kosteusvaurioita ei aina voi ensin edes huomata, koska kosteus voi kerääntyä rakenteen sisään tai väliin niin, että todellinen rakenteellinen vaurio voidaan huomata vasta sitten, kun rakenteet ovat jo osittain turmeltuneet tai huomataan hometta. Kosteusteknisiä tutkimuksia olisikin hyvä tehdä heti, kun epäillään rakennuksen toiminnassa olevan jotain vikaa. Kokenut kosteusvaurioiden tutkija huomaa jo silmämääräisesti kohdetta tarkastellessaan merkkejä siitä, mikä saattaisi olla kohteessa vikana. Monesti myös asunnon käyttäjällä on jo jonkinlainen kuva siitä, mikä rakennuksessa ei toimi oikein. Kosteusvauriotutkijan tehtävänä on sen jälkeen selvittää syy, mistä kyseinen ongelma aiheutuu ja kuinka se voidaan korjata.

3.1 Kohteen alustava tarkastelu

Selvitettäessä kohteen kosteusteknistä käyttäytymistä, on hyvä ensin selvittää rakennuksen tiedot ja historia. Vanhoista rakennuskuvista yleensä selviää hyvin, minkälaiset rakenteet rakennuksessa on ja onko rakenteisiin mahdollisesti tehty muutoksia. Muista asiakirjoista ja käyttäjiltä selviävät mahdolliset pienemmät remontit ja päivitykset rakennuksen kuntoon.

Yleistä kosteusvauriotutkintaa tehtäessä on hyvä käydä tutkimassa kohde ensin silmämääräisesti. Silmämääräisessä tutkimuksessa tarkastetaan ulkoa päin rakennuksen ulkoverhouksen, ikkunoiden ja mahdollisesti katon ulkopuolinen kunto. Rakennuksen sisällä tarkastetaan pintapuolisesti lattia, seinät ja katto. Pyritään vilkaisemaan myös kellari- ja ullakotiloja, jos mahdollista. Rakennuksen käyttäjältä saa myös yleensä tietoa käytönaikaisista kokemuksista, mahdollisista vuoto- kohdista ja muista vaurioista. Näiden tarkastelujen pohjalta voidaan päätellä, mitä

tutkimuksia kohteessa kannattaa suorittaa, joista sitten selviää varmuudella mahdolliset vauriot ja ongelmat.

3.2 Kosteusteknisiä mittauksia

Nykyajan tekniikalla voidaan selvittää erilaisia asioita rakennuksen toiminnasta. Kosteusvaurioita voivat aiheuttaa monet eri asiat tai niiden yhdistelmät. On suoranaisia vesivahinkoja ja kosteusvaurioita, jolloin kosteutta on päässyt rakenteisiin kapillaarisesti imeytymällä tai absorboitumalla ympäristöstä. Kosteusvaurio voi myös syntyä, jos kosteaa ilmaa pääsee vuotamaan rakenteen läpi konvektiovirtuksena tai väärin asennetun tai suunnitellun ilmansulun läpi, jolloin lämpötilaeron aiheuttamana ilman kosteus kondensoituu rakenteen pintaan. Tekemällä erinäisiä mittauksia, kuten rakenteiden pinta- ja sisäkosteuden mittaaminen, rakennuksen vaipan ilmanvuotokohtien selvittäminen ja lämmöneristyksen toiminnan selvittäminen, voidaan kartoittaa mitä korjauksia kohteessa on tehtävä.

3.2.1 Pintakosteuden mittaus

Pintakosteuden mittaamisella selviää nimensä mukaisesti rakenteen, esimerkiksi seinän tai lattian pinnan kosteus. Pintakosteuden mittaaminen on yleensä vain suuntaa antava toimenpide, jonka tuloksista voidaan päätellä, pitääkö rakenteita tutkia tarkemmin tekemällä kosteusmittauksia, esimerkiksi rakenteen sisältä. Pintakosteusmittari mittaa tutkittavan materiaalin sähkönjohtavuuden ja/tai dielektrisyiden. Tulokset eivät yleensä ole kovin tarkkoja ja ympärillä olevat johdot tai vesiputket voivat vaikuttaa tulokseen, joten mittaamisessa on oltava tarkka. Pintakosteusmittarilla onkin hyvä tutkia pintarakenteissa olevia mahdollisia suuria kosteusvaihteluita, esimerkiksi kuvan 1 pintakosteusmittarilla (<http://www.doser.de/english/instruments/dm4a-e.html>). <URL:<http://www.sisailmayhdistys.fi>>



Kuva 1. Doser-pintakosteuden mittauslaitteisto.

3.2.2 Rakennekosteuden mittaus

Rakenteen materiaalien kosteuspitoisuuksia voidaan mitata eri tavoilla. Materiaalista voidaan ottaa näytepalaa, jonka kosteussisältö määritetään kosteuspunnitusmenetelmällä tai kemiallisesti. Jos rakenteesta ei voida ottaa näytepalaa, voidaan massiivisesta rakenteesta mitata kosteus myös siihen soveltuvalla laitteella, esimerkiksi Vaisalan HMP44:llä kuvassa 2 (URL:<http://www.vaisala.fi>). Suhteellista kosteutta mitattaessa rakenteeseen porataan mittausreikiä, joista kosteus mitataan olosuhteiden tasaannuttua reiän ympärillä. Tuloksia tulkittaessa on oltava selvillä tutkitun rakenteen materiaali, mittaussyvyys ja kokonaispaksuus. <URL:<http://www.sisailmayhdistys.fi>>



Kuva 2. Vaisalan HMP44-kosteusmittauslaitteisto.

Lattiapinnoitteen alta voidaan mitata suhteellista kosteutta niin sanotulla viiltomittauksella. Siinä lattiapinnoitteeseen tehdään viilto halutulle kohdalle ja pinnoitteen alta mitataan kosteus esimerkiksi 4 mm Vaisala HMP42 kosteus- ja lämpömittapäällä kuvassa 3 (URL:<http://www.vaisala.fi>). Mittausviiltokohta tiivistetään tarkasti siten, että viilto on täysin vesihöyrytiivis. Näin lattiapinnoitteen yläpuolinen ilma ei pääse vaikuttamaan tulokseen. <URL:<http://www.sisailmayhdistys.fi>>



Kuva 3. Vaisalan 4 mm HMP42-kosteus- ja lämpömittapää ja HMI41 näyttömittalaite.

3.2.3 Tiiveyden, ilmavirran ja paine-eron mittaus

Normaaleilla ilman liikkeillä ei välttämättä ole kosteudellisia haittavaikutuksia, mutta ilman mukana voi tulla kosteutta, joka sopivissa olosuhteissa kerääntyy rakenteisiin ja pitemmällä aikavälillä voi aiheuttaa kosteusvaurioita. Jos rakennuksen vaippa ei ole rakennettu tarpeeksi tiiviiksi, vuotaa sen läpi silloin ilmaa ulkoa sisään tai toisin päin, riippuen lämpötila- ja paine-eroista.

Ilmavirran liikkeitä pääsee tarkkailemaan merkkisavukokeen avulla. Siinä ilmaan päästetään ympäristölle haitatonta savua, jonka liikkeitä tarkkaillaan silmämääräisesti ja pyritään näin selvittämään, missä kohdin rakennuksen vaippaa on vuoto-kohtia. Tilanteesta riippuen on mahdollista tehdä pieniä merkkisavukokeita harkituissa kohdissa rakennusta tai isompia kokeita, joissa savua päästetään laajemmalle alueelle kerralla, jolloin päästään tarkkailemaan ilmavirtauksia monessa eri kohdassa samanaikaisesti. <URL:<http://www.sisailmayhdistys.fi>>

Paine-eroilla tarkkaillaan yleensä sisätilan ja ulkoilman ilmanpaineen eroja. Ilmanpaineeseen sisätiloissa vaikuttavat pääasiallisesti ilmanvaihtoratkaisut. Jos rakennuksessa on esimerkiksi koneellinen poistoilmanvaihto, mutta ei tuloilmanvaihtoa, jää tila usein alipaineiseksi. Jos taas sisätilat ovat ylipaineiset, johtuen tuulesta tai koneellisen ilmanvaihdon vääristä säädöistä, aiheuttaa se kosteuskonvektiota kun lämmin sisäilma pyrkii rakenteiden läpi ulos. Mittaamalla paine-eroja voidaan päätellä toimiiko rakennus oikein. Paine-erojen mittaamiseen tarvitaan erittäin tarkkoja sähköisiä mittausrakenteita tai nestemanometreja, joilla voidaan tehdä hetkellisiä tai jatkuvia mittauksia. Tuloksissa on otettava huomioon mittaustilanteen olosuhteet, kuten tuulen vaikutus. <URL:<http://www.sisailmayhdistys.fi>>

Ilmavirtauksia ja paine-eroja on myös mahdollista kasvattaa koneellisesti, jolloin niiden mittaaminen on helpompaa. Rakennuksen sisätiloille voidaan tehdä niin sanottu tiiveyskoe, jossa asunnon huonetiloihin luodaan koneellisesti 50 Pa:n ylipaine. Kyseisenlaisia kokeita voi tehdä esimerkiksi Wöhler Blower Check BC 21 -laitteella, jolla voidaan puhalttaa ilmaa ulos tai sisään rakennukseen oven tai ikkunan kautta ja laite mittaa paine-eroa vastaavan ilmavirran ja laskee auto-

maattisesti ilmavuotoluvun. Mittausta tehtäessä sisätilojen ilmanvaihtokanavat ja muut aukot suljetaan tiiviisti, jotta ne eivät vaikuttaisi tulokseen. <<http://mgkg.woehler.de>>

3.2.4 Rakenteiden lämpövuodon määrittäminen

Lämpötilan vaihtelut eivät suoranaisesti aiheuta kosteusvaurioita, mutta rakenteiden eristysvirheistä aiheutuvat lämpötilaerot rakenteiden pinnalla ja kylmäsillat saattavat aiheuttaa ilmassa olevan vesihöyryn kondensoitumista, mikä pitemmällä aikavälillä saattaa aiheuttaa kosteusvaurioita. Sisälämpötilaa ja rakenteiden pintalämpötilaa voidaan mitata erinäisillä mittareilla. Parhaiten lämpövuodon huomaa silloin kun ulkolämpötilan ja sisälämpötilan ero on suuri. Tämän vuoksi lämpövuotomittaukset tehdäänkin yleensä talvella. Hyvän kokonaiskuvan rakenteiden pintalämpötiloista saa lämpökamerakuvauksella, kuvan 4 lämpökamera on käytössä Vaasan Technobotnian laboratoriossa. Lämpökamera mittaa kiinteiden pintojen emittoimaa lämpösäteilyä, jota kutsutaan myös infrapunasäteilyksi. Kamera muodostaa säteilyn perusteella kuvan, jossa lämpötilaerot havainnoidaan eri värisävyillä. Näin lämpökamerakuvauksella selviää, esimerkiksi se onko seinärakenteissa eristeellisiä puutteita, parvekkeen ankkurointi aiheuttaa kylmäsillan tai ikkunaeristyksissä on puutteita. <URL:<http://fi.wikipedia.org>>



Kuva 4. Flir Thermacam 695 lämpökamera.

3.3 Homevaurio- ja ilmanlaatututkimuksia

Pitkäaikaiset kosteusvauriot sopivissa olosuhteissa aiheuttavat orgaanisissa materiaaleissa homeitiöiden ja mikrobien kasvua, jotka lisääntyessään voivat vaikuttaa rakenteiden toimintaan heikentävästi ja ilman laadun huononemiseen ihmisten kannalta. On huomattu, että homehtuneista rakenteista voi siirtyä sisäilmaan toksineja ja VOC-päästöjä (Volatile Organic Compound) tai muita hiukkasia, jotka saavat ihmisissä aikaan allergiatyypisiä oireita. Pidemmällä aikavälillä homeitiöt tai muut epäterveelliset emissiot ja kaasut saattavat aiheuttaa vakavampiakin sairauksia. <URL:<http://www.sisailmayhdistys.fi>>

3.3.1 Ilmanlaatututkimus

Jos rakennuksessa epäillään olevan homevauriota, esimerkiksi asukkaat ovat oireilleet tai sisäilmassa on havaittavissa hajumuutos, on mahdollista tehdä ilmanlaatututkimus. Ilmasta otetaan ilmanäyte, josta selviää, onko sisäilmassa vaarallisia toksineja, homeitiöitä tai VOC-päästöjä. Mikrobien määrä ja laatu saadaan selville ottamalla ilmanäyte, esimerkiksi Andersenin 6-vaiheimpaktorilla. Laite hyödyntää ilmiötä nimeltä hiukkasten inertia ja imee ilmaa ympäriltään säiliön petrimaljoihin, joissa on valmiina itiöille sopiva kasvatusalusta. Näytteenotto kestää yleensä noin 10 minuuttia, jonka jälkeen petrimaljat suljetaan tiiviisti ja kuljetetaan laboratorioon viljeltäviksi. Tulos ilmoitetaan pesäkkeitä muodostavien yksiköiden määränä ilmakeuutiota kohti (cfu/m³). Mittaukset tulisi tehdä talvella, jolloin ulkoilmassa olevien sieni-itiöiden pitoisuudet ovat pienimmillään. Rakennuksessa voi olla home- tai lahovaurio, vaikka mikrobipitoisuudet ovat pieniä ilmanäytteessä. Yksinomaan ilmanäytteen sieni-itiöpitoisuuksien perusteella ei tällöin voida tehdä johtopäätöstä mikrobikasvuston esiintymisestä asunnossa vaan on suositeltavaa ottaa myös materiaalinäyte. <URL:<http://www.sisailmayhdistys.fi>; Asumisterveysohje 2003, 78.>

3.3.2 Materiaalinäytteen homevaurion tutkiminen

Haluttaessa selvittää homevaurion mahdollisuutta tai vakavuutta tietyllä alueella rakenteen pinnalla tai rakenteessa itsessään, voidaan ottaa pinta- tai materiaalinäy-

te. Pintanäyte otetaan sivelemällä tutkittavaa pintaa määrälalalta steriilillä vanupuikolla, joka toimitetaan koeputkessa laboratorioon tutkittavaksi. Pintanäytteestä on mahdollista tehdä viljely suoraviljely- tai laimennosmenetelmällä. Suoraviljelyssä tulos ilmoitetaan viisiosaisella asteikolla. Menetelmä on semikvantitatiivinen ja tulos on määrällisesti suuntaa antava. Laimennosmenetelmässä näytteestä tehdään laimennossarja, joista jokainen laimennos viljellään elatusalustoille. Kasvatuksen jälkeen pesäkkeet lasketaan ja pyritään tunnistamaan. Tulos ilmoitetaan pesäkkeitä muodostavien yksiköiden määränä neliösenttimetriä kohti (cfu/cm²). <URL:<http://www.sisailmayhdistys.fi>>

Materiaalinäytteitä otetaan yleensä rakenteiden pinnalta, koska sienikasvustot yleisimmin kasvavat rakenteiden pinnalla. Näytteen irrottaminen tapahtuu desinfioituilla välineillä ja näytteitä otettaessa on käytettävä käsineitä, jotta ihmisen omat bakteerikannat ja ihon pinnassa oleva lika eivät pääsisi vaikuttamaan tulokseen. Näytteet pyritään myös ottamaan havaintojen perusteella puhtaammasta vaurioituneimpiin materiaaleihin, näytteiden keskinäisen kontaminaatoriskin vähentämiseksi. Jokainen näyte pakataan omaan puhtaaseen, suljettavaan näytopussiin, esimerkiksi minigrip-pussiin, joissa ne kuljetetaan laboratorioon tutkittaviksi. Itse materiaalinäytteiden lisäksi on tulosten tulkinnan kannalta hyvä ottaa rakenteiden puhtaalta, terveeltä alueelta myös vertailunäyte ennen oikeita homeinäytteitä. Materiaalinäytteestä on mahdollista tehdä viljely suoraviljely- tai laimennosmenetelmällä. Suoraviljelyssä hienonnettua materiaalia siirretään vakiotilavuus elatusaineen pinnalle kasvatettavaksi. Kasvatuksen jälkeen syntyneet pesäkkeet lasketaan ja pyritään tunnistamaan. Tulos ilmoitetaan viisiosaisella asteikolla. Laimennosmenetelmässä punnittu osanäyte materiaalia laitetaan laimennosveteen ja mikrobit, itiöt ja rihmaston kappaleet irrotetaan nesteeseen, josta tehdään laimennossarja kasvatusta varten. Kasvatuksen jälkeen pesäkkeet lasketaan ja tunnistetaan. Tulos ilmoitetaan pesäkkeitä muodostavien yksiköiden määränä näytegrammaa kohti (cfu/g). <URL:<http://www.sisailmayhdistys.fi>; Asumisterveysohje 2003, 78.>

Epäilystä homevaurioituneesta rakenteesta voidaan tehdä myös nopea analyysi mikroskopoimalla. Tällöin materiaalin pinnasta voidaan ottaa materiaalinäyte tai

pintaa rikkomaton teippinäyte, josta mikroskoopin avulla voidaan tunnistaa nopeasti sienikasvusto (itiöt, rihmasto, itiöitä tuottavat rakenteet) ja tuloksista voidaan raportoida tarvittaessa jo saman päivän aikana. Suoramikroskopoinnilla voidaan havaita myös kuollut rihmasto, jota viljelymenetelmällä ei pystytä selvittämään. Menetelmällä ei kuitenkaan pystytä luotettavasti havaitsemaan bakteerikasvustoja ja näytteestä sienet voidaan tunnistaa vain sukutasolle asti. Myöskään eri itiöiden määristä ei voi saada tarkkaa tietoa. <URL:<http://aerobiologia.utu.fi/>>

Uusinta teknologiaa kosteus- ja homevaurioiden tunnistamisen saralla on Ositum Oy:n käyttämä DNA-perusteinen mikrobien tunnistusmenetelmä. DNA-menetelmässä on viljelymenetelmään se etu, että viljelymenetelmässä saadaan esiin vain sellaiset lajit, jotka kasvavat käytettävissä olevilla elatusalustoilla (noin 90 % lajeista eivät kasva käytettävissä olevilla elatusalustoilla). Luotettavuus elatusalustoilla viljelyyn paranisi, jos käytettäisiin useampia eri alustoja, mutta silloin kustannukset ja analyysiin kuluva aika kasvavat entisestään. Homelajit myös kilpailevat keskenään kasvualustasta ja monesti vain vahvimmat jäävät eloon, vaikuttaen näin tulokseen. Lisäksi viljelymenetelmällä ei pysty havaitsemaan kuolleita homeitiöitä. Vaikka homeitiöt olisivat kuolleita, voi niiden aineenvaihdunta olla vielä toiminnallinen ja näin tuottaa edelleen mykotoksiineja ja allergiset henkilöt voivat edelleen reagoida kuolleiden solujen pintarakenteeseen. DNA-menetelmällä ei ole näitä ongelmia, vaan sillä saadaan tulokseksi kokonaisitiö- tai solumäärä, riippumatta mikrobien kasvukyvystä tai solujen kunnosta. Menetelmä on myös huomattavasti nopeampi kuin viljelymenetelmä. Viljely kestää yleensä kaksi viikkoa, ja DNA-menetelmällä voi saada tarkan tuloksen jo yhdessä tai kahdessa päivässä. <URL:<http://www.ositum.fi>>

3.3.3 Näytteiden analysointi

Kun näytteet on kerätty, on niistä laboratoriomenetelmin selvitettävä sisältävätkö ne kosteus- tai homevaurioihin viittaavia määriä mikrobeja. Tavallisissa asuinrakennuksissa on aina pieniä määriä harmittomampia mikrobeja. Kosteusvaurioituneesta rakennuksesta mikrobeja löytyy huomattavasti enemmän ja mikrobikanta on erilainen. Kosteus on mikrobien kasvulle välttämätöntä. Kun rakenteet ovat

altistuneet kosteudelle alkavat ensin homeitiöt kasvamaan. Kosteusvaurion edetessä eri homelajikkeet esiintyvät vallitsevina ja lajit vaihtuvat yleensä haitalliseen suuntaan. Mikrobilajien erilaisesta kosteusvaatimuksesta johtuen on voitu määrittää niin sanottuja indikaattorimikrobeja, jotka indikoivat kosteusvauriota. Indikaattorimikrobeista on kerätty luetteloita (liite 1) joiden perustana on käytetty vuonna 1992 valmistunutta Baarnin indikaattorilistaa (liite 1).
<URL:<http://www.sisailmayhdistys.fi>>

4 TUTKIMUSMENETELMIEN OHJEISTUKSEN PÄIVITYS

4.1 Drytec Oy Ab

Drytec Oy on perustettu vuonna 1979, jolloin yrityksen palvelut keskittyivät korjauksiin ja asuntojen tuotantoon. Vuonna 1988 yritys suuntautui enemmän kosteus- ja vesivahinkojen kartoituksiin, kuivauksiin ja saneerauksiin. Siitä yritys on kasvanut kokemuksen lisääntyessä ja tekniikan kehittyessä yritykseksi, joka pysyy kartoittamaan tehokkaasti kosteusvaurioiden ja vesivahinkojen laajuuden ja määrittämään niiden aiheuttajat kuin myös antamaan kokonaisvaltaisen ratkaisun vaurioiden korjaamiseksi. Yrityksen tavoitteena on kehittää jokaiselle kosteusongelmalle ja vesivahingolle yksilöllinen korjausratkaisu rakennuksesta riippumatta, oli kyseessä sitten omakotitalo, rivitalo, kerrostalo tai julkinen rakennus. Drytec Oy pyrkii tulevaisuudessa myös toimimaan konsulttina uudisrakentamisessa teknisesti toimivan kosteusrakentamisen suunnittelussa.

Yrityksessä toimii toimitusjohtajan lisäksi kuusi kartoittajaa, jotka tekevät toimitustyöt, tutkimukset ja suunnittelun. Heidän lisäksi yritykseen kuuluu saneeraus- ja rakennusteknisen työn tekevä yksikkö, jossa työskentelee 10–12 rakennusalan ammattilaista ja osa töistä teetetään aliurakoitsijoilla. Laboratoriotutkimukset teetetään akkreditoiduissa laboratorioissa.

4.2 Työmenetelmäopas

Drytec Oy:llä on ollut käytössä opas, josta löytyy ohjeita ja kuvauksia työmenetelmistä niin saneerausta tekeville rakennustyömaamiehille kuin vauriomittauksia tekeville kartoittajillekin. Opas on tehty korttipohjaiseksi, jossa jokainen sivu käsittelee ohjeet yhdelle tai useammalle työvaiheelle tai asialle. Ohjeet on kirjoitettu lyhyesti, mutta ytimekkäästi ja niin, että aloittelevakin työntekijä ymmärtää mitä ohjeissa neuvotaan. Tekstin lisäksi kortteihin on lisätty havainnollistavia kuvia, jotka auttavat ymmärtämään paremmin mistä ohjeessa on kysymys. Oppaan alkupuolella on keskitytty kosteusvaurioiden saneeraamiseen erimallisissa ja eri materiaalisissa rakennuksissa (liite 2). Lopussa on ohjeita kartoittajille työn eri vaiheista ja kosteusvaurioiden mittausmenetelmistä.

Nykyinen opas on ollut käytössä vuodesta 2004. Erityisesti vaurioiden kartoittamisessa ja homevaurioiden tutkinnassa on tapahtunut merkittävää kehitystä kuudessa vuodessa ja oppaan päivitykselle on tarvetta. Oppaassa on hyviä ohjeita saneeraukseen ja yleinen ulkoasu toimii, joten tarkoituksena on päivittää vanha opas vaurioiden kartoittamiseen liittyvien ohjeiden osalta, mutta jättää saneeraukseen liittyvät ohjeet ennalleen.

4.3 Muutokset ja lisäykset oppaaseen

Drytec Oy on käyttänyt työssään mittausmenetelmiä, joilla selvitetään homevaurioiden mahdollisuutta tai laajuutta rakenteissa ja hengitysilmassa. Uusia menetelmiä on kuitenkin kehitetty, koska tarve kyseisille tutkimuksille on lisääntynyt merkittävästi vuosien aikana. Päivitettyihin kortteihin on lisätty nykyaikaiset mittausmenetelmät, joita Drytec Oy käyttää vaurioiden kartoittamisessa.

4.3.1 Materiaalinäyte

Materiaalinäytteen ottaminen homevaurioiden tutkimista varten on pysynyt pääosin samanlaisena kuin ennenkin, muutoksia vanhaan korttiin kuitenkin tuli (liite 3). Kortin alkupäähän lisättiin yleinen kuvaus materiaalinäytteenottamisesta. Nykyään materiaalinäytteen voi lähettää moneen eri akkreditoituun eli valtuutettuun laboratorioon, jolloin vanhassa kortissa olevaa tarkennusta Kuopion Alue- ja työterveyslaitoksen laboratoriolle ei enää tarvita. Tästä kortista poistettiin myös ”Hiukkasnäyte/Kontaktinäyte” -osio kokonaan ja kyseiselle näytteelle tehtiin oma kortti Kuitunäyte -nimellä.

Materiaalinäyte, josta laboratoriossa viljelemällä selvitetään homeeläimäkkeet ja niiden määrät on ollut jo kauan yleinen tutkimismenetelmä homevaurioiden kartoittamiselle. Nykyään materiaalinäytettä osataan käyttää hyväksi monipuolisemmin ja siitä voidaan perinteisen viljelymenetelmän lisäksi selvittää homeeläimäkkeet myös DNA-analyysillä tai elektronimikroskooppianalyysillä.

4.3.2 Kuitunäyte

Kuitunäytteen ottamisesta tehtiin oma kortti, jossa kuvaillaan kuitunäytteen ottamista ja analysointia (liite 3). Materiaalien pinnalta voidaan ottaa kuitunäyte, josta selviää onko pinnalle kertynyt ilmasta teollisia mineraalikuituhiukkasia. Kuitunäyte otetaan teippimenetelmällä, jossa erityisillä pölynkeräinteipeillä kerätään kohteessa olevilta pinnoilta niille kerääntyneitä pölyhiukkasia. Pinnat täytyy puhdistaa kaksi viikkoa ennen näytteen ottoa ja pintoja ei näiden kahden viikon aikana saa puhdistaa, jotta pölyhiukkasia kerääntyy puhdistetuille pinnoille riittävästi.

Kuitunäytteellä ei pystytä selvittämään kuitujen tyyppiä eli sitä, ovatko ne vuorivillaa, lasivillaa vai lasikuitua. Myöskään asbestin, homeitiöiden tai muiden hiukasten määrittäminen ei tällä menetelmällä onnistu. Näytteestä pystytään laskemaan valomikroskooppia käyttämällä yli 20 mikrometrin (μm) pituiset teolliset mineraalikuidut ja tulos ilmoitetaan kuitukappalemääränä neliösenttimetriä kohden (kpl/cm^2).

4.3.3 DNA-analyysi

DNA-analyysi on uusi kortti, joka kuvaa mitä DNA-analyysillä voi selvittää (liite 3). DNA-analyysissä selvitetään materiaali-, ilma-, tai pintapyyhintänäytteestä mikrobilajit ja itiöiden määrät riippumatta niiden kasvukyvyystä tai kunnosta, eli myös kuolleet tai vaurioituneet itiöt voidaan tunnistaa. DNA-analyysissä käytetään kvantitatiivista PCR-menetelmää, jossa homeille, bakteereille ja sädesienille ominaisia DNA-jaksoja käytetään hyväksi mikrobien tunnistamisessa. DNA-menetelmän avulla voidaan tunnistaa myös lahottajasieniä määrittämällä tietyn geenialueen emäsjärjestys eli sekvensoimalla. DNA-analyysi on nopeampi ja tarkempi kuin vanhat viljelymenetelmät, koska lajien tunnistaminen ei enää riipu kasvatusalustoista, jotka rajoittivat tunnistamisen vain niihin lajeihin, jotka alustoilla onnistuivat kasvamaan. Menetelmää käyttää Ositum Oy, jonka laboratorioon näytteet lähetetään tutkittavaksi. <URL:<http://www.ositum.fi>>

4.3.4 Rakennuksen myrkyllisyyden pikatesti

Rakennuksen myrkyllisyyttä mittaava pikatesti on uusi Inspector Sec Oy:n testausmenetelmä, jossa näytteiden keräystä varten saadaan valmis paketti. Paketti sisältää kaiken tarvittavan näytteiden ottamista ja kirjaamista varten. Näytteet lähetetään laboratorioon tutkittavaksi mukanaan lomake, johon on kirjattu kaikki tarvittavat tiedot näytteistä ja kohteesta. Laboratoriossa näytteistä analysoidaan, esiintyykö kohteessa ihmisen terveydelle haitallisia mikrobimyrkkyjä. Drytec Oy:n aikomuksena on ottaa tämä uusi tutkimusmenetelmä käyttöön, josta syystä sille tehtiin myös oma kortti (liite 3). <URL:<http://www.inspectorsec.fi>>

4.3.5 Ilmanäyte

Ilmanäytteen ottaminen on ollut Drytec Oy:llä käytössä jo aikaisemmin ja vanhasa kortissa neuvotaankin tarkasti sen ottaminen. Uutta tietoa on tullut lähinnä mikrobien ja muiden hiukkasten tunnistamiseen ja siihen mitä epäpuhtauksia tai haitallisia kaasuja ilmasta voi löytyä (liite 4). Vanhasta kortista poistettiin myös kohta, joka kuvaa eri yhdisteitä, koska niistä tehtiin oma tarkemmin kuvailtu kortti. Korttiin lisättiin myös kohta, joka selittää suunnatun VOC-ilmanäytteen ottamista.

Ilmasta otetaan ilmanäyte, josta voidaan selvittää ilmassa leijailevia homeitiöitä, kaasuja tai muita hiukkasia, jotka ovat vaarallisia ihmisten terveydelle. Ilmaa pumpataan adsorbentin läpi pumpulla noin 10 litraa, jonka aikana riittävä määrä hiukkasia kerääntyy keräimeen. Näyte viedään tutkittavaksi laboratorioon, jossa kaasukromatografilla ja massaspektrometrillä selvitetään näytteestä, mitä kaasuja ja hiukkasia ilma sisältää.

Ilmanäytteestä voidaan tehdä myös VOC-analyysi. Siinä ilmanäytteestä selvitetään, onko ilmassa erilaisia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. VOC-ilmanäyte voidaan ottaa koko kohteen ilmasta, jolloin pumpun annetaan imeä 100 minuuttia ilmaa adsorbentin läpi tai voidaan tehdä suunnattu VOC-ilmanäyte, jossa näyte otetaan suunnatusti jostain pinnasta, esimerkiksi lattiasta. Tällöin ilmaa ei tarvitse imeä niin kauan, vain noin 30 minuutin ajan. Ajat ja ilmamäärät merkitään tarkasti lomakkeeseen, joka lähetetään näytteen mukana laboratorioon.

4.3.6 Yhdisteet

Ilmasta löytyvistä yhdisteistä ja niiden määrästä voidaan päätellä mitä materiaaleja rakenteissa on mahdollisesti käytetty ja missä kunnossa ne ovat. Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä eli VOC-yhdisteitä vapautuu ilmaan materiaaleista, joissa lämpötilan ja kosteuden nousun vaikutuksesta alkaa tapahtua kemiallisia reaktioita. Yhdisteet jaetaan eri ryhmiin riippuen niiden koostumuksesta. On olemassa erittäin haihtuvia yhdisteitä, joiden lyhenne on VVOC, seuraavaksi ovat normaalit haihtuvat yhdisteet VOC ja niiden jälkeen puolihaihtuvat yhdisteet SVOC. Näiden lisäksi on hiukkasiin sitoutuvia hiukkasmaisia orgaanisia yhdisteitä, joiden lyhenne on POM. Rakennusmateriaalien pinnoille saattaa alkaa myös kehittyä mikrobikasvustoja ja osa mikrobien aineenvaihduntatuotteista on myös haihtuvia. Näitä kuvataan lyhenteellä MVOC. Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä on satoja erilaisia ja osa niistä ei aiheuta välttämättä mitään haittaa ihmisille, mutta osa voi pienissäkin pitoisuuksissa ilmassa vaikuttaa ihmisten terveyteen (liite 4). Yhdisteet-korttiin on sisällytetty Drytec Oy:n käyttämät listat vaarallisista yhdisteistä, joita materiaaleista ja mikrobivaurioista voi emittoitua ilmaan.

4.3.7 Yhdistetty ilmanäyte ja materiaalinäytteen emissiomittaus

Haluttaessa saada selville mitä kaasuja, hiukkasia tai muita ilman epäpuhtauksia vapautuu ilmaan tietystä pinta- tai rakennusmateriaalista, voidaan ilmanäytteen lisäksi ottaa materiaalinäyte (liite 4). Materiaalinäyte lähetetään ilmannäytteen mukana laboratorioon, jossa materiaalista mitataan siitä vapautuvia emissioita. Vertaamalla ilmanäytettä ja materiaalinäytettä keskenään voidaan määrittää, mitkä epäpuhtauksista tulevat materiaalista.

Käyttämällä niin sanottua FLEC-menetelmää, voidaan pintamateriaalista selvittää mittaushetkellä mitä emissioita materiaalista ilmaan tulee (liite 4). Menetelmällä voidaan kerätä emissioita lattia- ja seinämateriaaleista, erilaisista maaleista ja liimoista, tiivistysaineista, tekstiileistä ja kodin puhdistustuotteista. Ilman epäpuhtauksien syyt selvittämällä, voidaan paremmin suunnitella mitä korjaustoimenpiteitä pitää tehdä, jotta ongelma poistuisi. Kortissa kuvataan myös Ositum Oy:n FLEC-

menetelmään liittyviä teknisiä tietoja, jotka eroavat yleisistä FLEC-menetelmän tutkimustavoista. (www.ositum.fi)

4.3.8 Ilmanäyte Anderssen 6-vaihe impaktorilla

Ilmanäyte voidaan ottaa myös impaktorilla, kuten Anderssenin 6-vaihe impaktorilla (liite 4). Tämän menetelmän kortti on uusi lisäys ilmanäytekortteihin. Laite imee ilmaa säiliöön ja sen mukana mikrobeja ja homeitiöitä kerääntyy eri kasvatustalustoille riippuen niiden massasta. Laitteesta saatavat näytteet soveltuvat homeitiöiden määrän ja lajin tunnistamiseen viljelymenetelmällä tai DNA-analyysillä. Impaktoria on suositeltavaa käyttää vain talviaikana, jolloin ulkoilman sieni-itiöpitoisuudet ovat pienimmillään. Tehtäessä mittauksia sulan maan aikaan, on ulkoilmasta otetta oma vertailunäyte.

4.3.9 Lämpökamerakuvaus

Lämpökamerakuvauksesta tehtiin oma kortti, jossa kerrotaan lämpökamerakuvauksesta ja sen hyödyistä (liite 5). Lämpökamerakuvausella voidaan saada selville rakennuksen vaipassa olevia ilmapuotokohtia. Jos rakennuksessa on alipainetta ja rakenteen läpi pääsee vuotamaan kylmää ulkoilmaa sisälle, voidaan lämpökameralla nähdä missä vuotokohdan kiinteille pinnoille aikaansaama lämpösäteilyn ero sijaitsee. Lämpökamera mittaa kiinteiden pintojen emittoimaa infrapunasäteilyä ja muodostaa säteilyn voimakkuuden vaihteluista kuvan. Lämpökameralla voidaan katsoa niin sanottua ”lämpökuvaa” reaaliajassa, josta voidaan päättää, mistä kohdista olisi hyvä ottaa pysäytyskuvia. Lämpökuvassa eri värisävyt kuvaavat eri lämpötiloja, esimerkiksi matalasta korkeaan lämpötilaan värit voivat vaihdella kylmästä mustasta vihreän ja keltaisen kautta punaiseen ja lopulta valkoiseen, joka kuvaa lämpöskalan korkeinta lämpötilaa.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli päivittää Drytec Oy:n työmenetelmäopasta, jota yrityksen työntekijät käyttävät hyväkseen tehdessään saneerauksia ja kosteusvauriokartoituksia. Tietoa kerättyä ja kortteja suunniteltaessa alkoi hahmottua, mikä osa-alue oppaassa tarvitsi lisäyksiä kortteihin. Oppaan päivittämisessä päätettiin keskittyä mittausmenetelmiin, joita tarvitaan kun kartoitetaan kosteus- ja homevaurioita. Vanhassa oppaassa olevia alkuperäisiä kortteja muutettiin homevaurioiden mittausmenetelmiä kuvaavien korttien osalta ja niiden yhteyteen lisättiin uusia kortteja, joissa kerrotaan uusien mittausmenetelmien työtavoista. Korteista ilmenee mittausmenetelmien käyttötarkoitus, mittauksen eri työvaiheet, kuvaus näytteiden analysoinnista ja mitä mittauksien tuloksista voidaan tulkita. Kaiken kaikkiaan kahta korttia muutettiin ja kokonaan uusia kortteja tuli seitsemän, joihin kerättiin tiivis tietopaketti homevaurioiden mittaamisesta.

Työtä suunniteltaessa oli myös tarkoitus lisätä kortteihin tietoa kosteus- ja homevaurioiden mahdollisista syistä ja syntyperästä. Työn edetessä päädyttiin siihen, että työmenetelmäoppaan kortteihin ei tietopaketteja kosteusvaurioiden syistä lisätty, koska yritys ei pitänyt sitä enää niin tarpeellisena vaan keskityttiin kuvaamaan eri mittausmenetelmiä. Vaikka aika tuntuikin loppuvan kesken, koen silti työn tuloksen olevan hyvä ja sen mukainen, mitä yritys sen halusi olevan. Jos aikaa olisi ollut enemmän, olisin syventänyt työtäni mittausmenetelmien osalta ja havainnollistanut menetelmiä tarkemmin sanoin ja kuvin.

Pohjatyönä korttien tekemiselle, työn ensimmäisessä luvussa käsitellään rakennusfysiikan kosteuden teoriaa ja rakenteiden kosteuskäyttäytymistä, joista voidaan päätellä kosteusvaurioiden yleisimmät syyt. Seuraavassa luvussa tarkastellaan kosteus- ja homevaurioiden mittaustapoja ja niihin käytettäviä laitteita. Näitä tietoja hyödyntäen ja yritykseltä saatujen lisätietojen ja opastuksen perusteella tehtiin uudet kortit työmenetelmäoppaaseen.

Opinnäytetyön tekeminen syvensi merkittävästi tiedon määrääni rakenteiden ja rakennusten kosteusfysikaalisesta toiminnasta ja opin paljon uutta tietoa kosteus- ja homevaurioiden kehittymisestä, mittaamisesta ja korjaamisesta. Myös kiinnos-

tukseni alan töihin lisääntyi ja tulevaisuudessa haluaisinkin päästä töihin, jossa minulla olisi mahdollisuus toimia vastaavanlaisten mittaus- ja suunnittelutöiden parissa.

LÄHDELUETTELO

1. Painetut teokset

Björkholtz, Dick 1997. Lämpö ja kosteus Rakennusfysiikka. 2 p. Saarijärvi. Gummerus Kirjapaino Oy.

Siikanen, Unto 2001. Rakennusaineoppi. 6 p. Hämeenlinna. Karisto Oy.

Siikanen, Unto 1998. Puurakennusten suunnittelu. 4 p. Vammala. Vammalan Kirjapaino Oy.

Siikanen, Unto 1996. Rakennusfysiikka Perusteet ja sovellukset. Helsinki. Tammer-Paino Oy.

Ympäristöministeriö 1999. RakMK C2 opas, Kosteus rakentamisessa. Tampere. Tammer-Paino Oy

2. Elektroniset julkaisut

Inspector Sec Oy. Pikatesti [online]. [viitattu 29.4.2010]. Saatavilla www-muodossa: <URL:<http://www.inspectorsec.fi/docs/esitteet/Pikatesti.pdf>>

Ositum Oy. DNA-laboratorio [online]. [Viitattu 13.4.2010] Saatavilla www-muodossa: <URL:<http://www.ositum.fi/index.php?p=DNALaboratorio>>

Sisäilmayhdistys. Ilmavirtaus ja paine-ero [online]. [viitattu 9.4.2010]. Saatavilla www-muodossa:

<http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/ongelmien_tutkiminen/rakennustekniset_tutkimukset/ilmavirtaus_ja_paine_ero/>

Sisäilmayhdistys. Kosteusmittaukset [online]. [viitattu 7.4.2010]. Saatavilla www-muodossa:

<URL:http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/ongelmien_tutkiminen/rakennustekniset_tutkimukset/kosteusmittaukset/>

Sisäilmayhdistys. Mikrobitutkimukset [online]. [viitattu 13.4.2010]. Saatavilla
www-muodossa:

<http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/ongelmien_tutkiminen/mikrobitutkimukset/naytteenotto/>

Sosiaali- ja terveysministeriö 2003. Asumisterveysohje [viitattu 2.4.2010] saatavilla
www-muodossa:

<[URL:http://www.stm.fi/c/document_library/get_file?folderId=28707&name=DLFE-3518.pdf](http://www.stm.fi/c/document_library/get_file?folderId=28707&name=DLFE-3518.pdf)>

Tampereen Teknillinen Yliopisto. Rakenteiden toiminta. Maanvastaiset alapohjarakenteet [online]. [viitattu 2.3.2010] Saatavilla www-muodossa:

<[URL:http://www.tut.fi/public/index.cfm?mainisel=10212&sel=12150&show=16033&siteid=116](http://www.tut.fi/public/index.cfm?mainisel=10212&sel=12150&show=16033&siteid=116)>

Turun yliopisto Aerobiologian yksikkö. Tutkimuspalvelut Näytteenotto-ohjeet: Rakennusten mikrobitutkimukset [online]. [viitattu 13.4.2010]. Saatavilla www-muodossa:
<http://aerobiologia.utu.fi/tutkimuspalvelut/Naytteenotto-ohjeet_Rakennusmikrobiologia.pdf>

VTT Rakennus ja yhdyskuntatekniikka 2004. Betonin ja siihen liittyvien materiaalien homehtumisen kriittisetolosuhteet - betonin homeenkesto. [viitattu 17.3.2010] Saatavilla www-muodossa:

<[URL:http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2004/W6.pdf](http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2004/W6.pdf)>

Ymparisto. Pohjavesi [online]. [viitattu 4.2.2010]. Saatavilla www-muodossa:
<[URL:http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=107&lan=fi](http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=107&lan=fi)>

Vaisala. Kosteusmittauslaitteet [online]. [Viitattu 13.4.2010] Saatavilla www-muodossa: <<http://www.vaisala.fi/instrumentit/tuotteet/>>

Wikipedia. Lämpökamera [online]. [viitattu 9.4.2010]. Saatavilla www-muodossa: <[URL:http://fi.wikipedia.org/wiki/L%C3%A4mp%C3%B6kamera](http://fi.wikipedia.org/wiki/L%C3%A4mp%C3%B6kamera)>

Wöhler. Measuring Instruments [online]. [viitattu 9.4.2010] Saatavilla [www-muodossa:](http://mgkg.woehler.de/en/product/203_1_W%C3%B6hler+BC+21+Blower+Check_Product.html)

<http://mgkg.woehler.de/en/product/203_1_W%C3%B6hler+BC+21+Blower+Check_Product.html>

Kosteusvaurioindikaattorit [online]. [viitattu 12.4.2010]. Saatavilla [www-muodossa: <http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/ongelmien_tutkiminen/mikrobitutkimukset/indikaattorit/>](http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/ongelmien_tutkiminen/mikrobitutkimukset/indikaattorit/)

Kosteusvaurioindikaattorit Kuopion aluetyöterveyslaitoksen Ympäristömikrobiologian laboratorion tutkimus- ja palveluaineiston perusteella:

- | | | |
|-------------------------------------|------------------------|--------------------------|
| • <i>Absidia</i> | • <i>Chrysonilia</i> | • <i>Rhinoclatiella</i> |
| • <i>Acremonium</i> | • <i>Chrysosporium</i> | • <i>Rhizopus</i> |
| • <i>Aspergillus flavus</i> | • <i>Engyodontium</i> | • <i>Rhodotorula</i> |
| • <i>Aspergillus fumigatus</i> | • <i>Eurotium</i> | • <i>Scopulariopsis</i> |
| • <i>Aspergillus ochraceus</i> | • <i>Fusarium</i> | • <i>Sporobolomyces</i> |
| • <i>Aspergillus penicillioides</i> | • <i>Exophiala</i> | • <i>Sphaeropsidales</i> |
| • <i>Aspergillus sydowii</i> | • <i>Geomyces</i> | • <i>Stachybotrys</i> |
| • <i>Aspergillus terreus</i> | • <i>Memnoniella</i> | • <i>Streptomyces</i> |
| • <i>Aspergillus versicolor</i> | • <i>Mucor</i> | • <i>Trichoderma</i> |
| • <i>Aureobasidium</i> | • <i>Oidiodendron</i> | • <i>Tritirachium</i> |
| • basidiomykeetit | • <i>Paecilomyces</i> | • <i>Ulocladium</i> |
| • <i>Botrytis</i> | • <i>Phialophora</i> | • <i>Wallemia</i> |
| • <i>Chaetomium</i> | • <i>Phoma</i> | |

Toksiset indikaattorimikrobit

Kuopion aluetyöterveyslaitoksen Ympäristömikrobiologian laboratorion mukaan mahdollisia toksiinintuottajamikrobeja kosteusvauriorakennuksista otetuissa näytteissä ovat kirjallisuustietojen perusteella mm.:

- *Acremonium*
- *Aspergillus flavus*
- *Aspergillus fumigatus*
- *Aspergillus ochraceus*
- *Aspergillus sydowii*
- *Aspergillus terreus*
- *Aspergillus versicolor*
- *Chaetomium*
- *Fusarium*
- *Memnoniella*
- *Oidiodendron*
- *Paecilomyces*
- *Stachybotrys*
- *Trichoderma*
- *Streptomyces*

Baarnin indikaattorilista [online]. [viitattu 12.4.2010]. Saatavilla [www-muodossa:](http://www.muodossa:)

<http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/ongelmien_tutkiminen/mikrobitutkimukset/indikaattorit/>

Ns. Baarnin lista on luettelo kosteusvaurioon viittaavista indikaattorimikrobeista vuoden 1992 tiedon perusteella:

Runsasta kosteutta vaativat (RH > 90...95 %)	Kohtalaista kosteutta vaativat (RH 85...90 %)	Suhteellisen kuivassa viihtyvät mikrobit (RH < 85 %)
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Aspergillus fumigatus</i> • <i>Exophiala</i> • <i>Fusarium</i> 1) • <i>Phialophora</i> • <i>Stachybotrys</i> 1) • <i>Trichoderma</i> • <i>Ulocladium</i> • Sädesienet= <i>Streptomyces</i>=aktinomyketit, nykyisin aktinobakteerit • Hiivat (<i>Rhodotorula</i>) • Useita gram-negatiivisia bakteereita (esim. <i>Pseudomonas</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Aspergillus versicolor</i> 1) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Aspergillus versicolor</i> ¹⁾ • <i>Eurotium</i> • <i>Wallemia</i> • <i>Penicillium</i> ?lajeja (esim. <i>Penicillium chrysogenum</i>, <i>Penicillium aurantogriseum</i> ¹⁾

1) tuottaa toksiineja

Drytec Anderssen Oy Ab		Luku	Dok. Numero INS 005
Aihe	Koneellinen kuivaus	Painos 1	Sivu 1 (1)
Tekijä	Kai Granlund	Päivämäärä 09.01.04	Korvaa
Hyväksyjä	Mikael Anderssen	Päivämäärä 09.01.04	Voimassa alkaen 09.01.04

Koneellinen kuivaus



Pakkoilmastointi

TAVOITE

- Kosteuden kuivaus rakenteista
- Kuivaustulosten vahvistaminen

Pakkoilmastointi

1. Poraa reikä pintavalun läpi pohjalaattaan asti.
2. Puhdista kuivausreikä.
3. Asenna sivukanaalituuletin ja pintakuivaus.
4. Tarkista ilman virtaus.
5. Max. 15 m² per kone rakenteista riippuen.
6. Reikiä porataan, puhdistetaan ja tulpataan tarkistusmittauksia varten.
7. Suorita tarkistusmittauksia.

Pintakuivaus

1. Kun pinnoitteet on poistettu, liima- ja tasoitekerrokset on jyrstetty pois sekä kuivauspinnat on puhdistettu, asennetaan kuivaus.
2. Reikiä porataan, puhdistetaan ja tulpataan tarkistusmittauksia varten.
3. Jos adsorbtio-kosteudenpoistajaa käytetään, pitää kostea ilma johtaa ulos tuuletusikkunan tai ilmastointikanavan kautta.

Mikrokuivaus

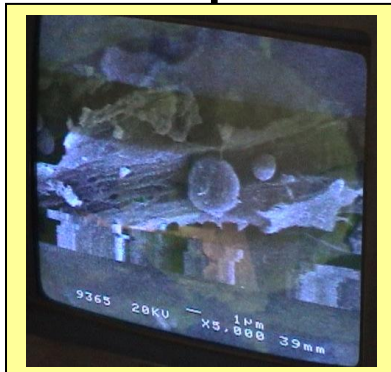
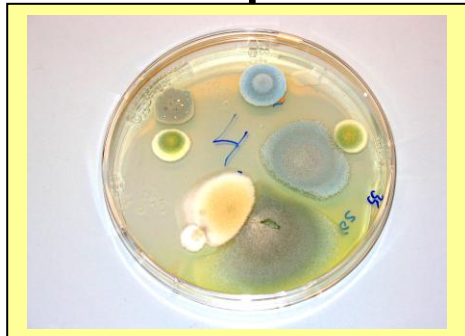
1. Asenna koneet alustalle ja ohjelmoi ne.
2. Asenna varoituskyltit ja informoi asukkaita.
3. Eristä takana sekä alla olevat tilat alumiinifolion avulla.
4. Suorita elektromagneettisen säteilyn mittaus käynnistyksen yhteydessä.



Mikrokuivaus

Drytec Anderssen Oy Ab		LIITE 3	Dok. Numero RUT 005
Aihe	Materiaalinäytteet	Painos 1	Sivu 1 (4)
Tekijä	Arto Ylinen	Päivämäärä 21.05.10	Korvaa
Hyväksyjä	Mikael Anderssen	Päivämäärä 21.05.10	Voimassa alkaen 21.05.10

Materiaalinäytteet



TAVOITE

- Tutkia ja määrittää mikrobilajit ja hiukkaset kohteesta
- Vaurion laajuuden ja lajin määrittäminen toimenpide-ehdotusta varten

1. Materiaalinäyte on paras tapa selvittää rakennusmateriaalin kunto, silloin sijainti on jo tiedossa, jos jotain näytteestä löytyy.
2. Valitse näytteenottoa varten vauriokohta tai kohta, jossa epäilet vaurion olevan.
3. Ota materiaalinäyte materiaalin pinnasta desinfioidulla veitsellä tai muulla terävällä esineellä ja pidä käsiäsi, näin ihmisen omat bakteerikannat ja ihon pinnassa oleva lika ei pääse vaikuttamaan näytteen tulokseen.
4. Kerää yhteen näytteeseen vain yhtä materiaalia.
5. Materiaalinäyte pakataan tiivisti, ettei se joudu kosketuksiin ilman kanssa kuljetuksen aikana.
6. Säilytä näytteet kylmässä, esim. jääkaapissa, sillä lämpimässä bakteerit lisääntyvät.

Materiaalinäyte mikrobiologista analyysiä varten

1. Kuvan näyte on vaurioitunut pitkäaikaisesta kosteudesta. Siinä esiintyy näkyvää mikrobikasvustoa sekä lahoamista.
2. Tämä näyte analysoidaan lajin määrittämiseksi viljelemällä tai DNA-tekniikalla.
3. Useimmiten materiaalinäyte otetaan myös silmämääräisesti terveestä materiaalista varmistukseksi, ettei se sisällä mikrobeja.

Analyysi viljelyn ja lajin selvittämisen avulla

1. Materiaalinäyte lähetetään akkreditoituun laboratorioon.
2. Vastaus saadaan cfu/g-muodossa (colony forming units) eli kasvavien itiöiden määrä kasvualustalla.

Materiaalinäytteen elektronimikroskooppianalyysi

1. Materiaalinäyte lähetetään Helsingin aerosolilaboratorioon, missä näyte analysoidaan.
2. Analyysi soveltuu hyvin rajanvetoihin, koska se on suhteellisen nopea (n. 2-3 vuorokautta).
3. Lajin selvittäminen ei kuitenkaan ole yhtä luotettava ja laaja kuin viljelyssä.

Drytec Anderssen Oy Ab		LIITE 3	Dok. Numero RUT 005
Aihe	Materiaalinäytteet	Painos 1	Sivu 2 (4)
Tekijä	Arto Ylinen	Päivämäärä 21.05.10	Korvaa
Hyväksyjä	Mikael Anderssen	Päivämäärä 21.05.10	Voimassa alkaen 21.05.10

Kuitunäytteet

TAVOITE

- Tutkia ja määrittää mitä teollisia mineraalihiukkasia ilmassa esiintyy
- Vaurion laajuuden ja lajin määrittäminen toimenpide-ehdotusta varten



1. Kontaktinäyte otetaan tasaiselta pinnalta, johon laskeutuva pöly asettuu. Näytteestä määritetään, sisältääkö se mineraalikuituja.
2. Näytettä otettaessa täytyy tietää, koska pinta on viimeksi siivottu. Pitää välttää näytteenottoa pinnalta, johon pöly on laskeutunut erittäin pitkän ajan, esimerkiksi listojen päältä.
3. Näytteenkeräyspinta puhdistetaan 2 vkoa ennen näytteenottoa. Näiden kahden viikon aikana siivousta ei tule suorittaa.
4. Pyyhi tarkasteltavalta alueelta vähintään 10cm² alue kostealla liinalla ja merkkää alue varoitusteipillä ja huomiolapulla, jotta aluetta ei puhdistettaisi laskeuma-aikana.

Kuitunäytteen ottaminen teippimenetelmällä

1. Alumiinipussissa olevat pölykeräinteipit säilytetään jääkaapissa.
2. Ota teippi pussista ja irrota suojakalvo.
3. Asenna teippi siten, että keräyspinta on tasoa vasten ja paina teippiä esim. paristolla voimakkaasti edestakaisin rullaten. Tarkoitus on litistää teipin geelipinta täyttämään kaikki tason huokokset, paina siis paristoa reilusti teippiä asentaessa.
4. Irrota teippi varovasti näytteenottopinnasta ja kiinnitä se reunoista tavallisella teipillä kuljetusrasian (petrimaljan) pohjaan pölynäytepinta ylöspäin.
5. Sulje kuljetusrasia kannella ja varmista kannen kiinnitys tavallisella teipillä.

Kuitunäytteen analysointi

1. Kuitunäyte soveltuu ainoastaan teollisten mineraalikuitujen määrän selvittämiseen. Kuitujen tyyppien, asbestin, homeitiöiden tai muiden hiukkasten määrittämiseen menetelmä ei sovellu.
2. Näytteestä lasketaan valomikroskooppilla yli 20 µm pituiset teolliset mineraalikuidut. Tulos yksikössä kpl kuitua/cm². Tulos 0,1 – 100 kuitua/cm² tai yli 100 cm².
3. Työterveyslaitoksen suositus ohjearvoksi kuitutiheydelle kahden viikon pölylaskeumassa on 0,2 kuitua/cm².

Pölynäytteestä voidaan määrittää:

1. Asbesti valomikroskooppisesti (esim. kuva vasemmalla x50)
2. Asbesti elektronimikroskooppisesti
3. Pölyn koostumus elektronimikroskooppisesti
4. Pölyn painopitoisuus (kokonaispölymääritys)
5. Kvartsin ja muiden kiteisten piioksidien määrittäminen
6. Hienopölyn erotus
7. Kuitulaskenta valomikroskooppisesti
8. Kuitulaskenta elektronimikroskooppisesti
9. Kuitulaskenta kudosnäytteestä elektronimikroskooppisesti
10. Homemääritys elektronimikroskooppisesti pölynäytteestä
11. Mineraalikuitujen laskeumamittaus valomikroskooppilla
12. Mineraalikuitulaskenta suodatinkankaalla

Drytec Anderssen Oy Ab		Dok. Numero RUT 005
LIITE 3		
Aihe Materiaalinäytteet	Painos 1	Sivu 3 (4)
Tekijä Arto Ylinen	Päivämäärä 21.05.10	Korvaa
Hyväksyjä Mikael Anderssen	Päivämäärä 21.05.10	Voimassa alkaen 21.05.10

DNA-analyysi



TAVOITE

- Tutkia ja määrittää mitä mikrobi- ja homelajeja kohteessa esiintyy
- Vaurion laajuuden ja lajin määrittäminen toimenpide-ehdotusta varten

Ositum Oy:n DNA-analyysi

- voidaan tehdä materiaali- ja ilmanäytteistä.
- tulos saadaan 1-3 päivässä riippuen ruuhkasta laboratoriossa.
- tunnistaa myös kuolleet/vaurioituneet itiöt, eikä rajoitu vain elatusalustoilla kasvatettaviin mikrobilajeihin niinkuin viljelyssä.
- tuloksena saadaan kokonaisitiö-/solumäärä, riippumatta niiden kasvukyvystä tai kunnosta.



PCR-menetelmä

- DNA-analyysissä käytetään kvantitatiivista PCR-menetelmää (Polymerase Chain Reaction) eli QPCR-menetelmää.
- homeille, bakteereille ja sädesienille ominaisia DNA-jaksoja käytetään hyväksi mikrobien tunnistamisessa.
- QPCR-analyysi perustuu mikrobien DNA:n monistukseen ja samanaikaisesti tapahtuvaan DNA:n määrän mittaukseen.
- menetelmän heikkoutena on, että sillä pystyy tekemään tarkasti määrällisiä tutkimuksia, mutta lajimääritys on hankalaa ja menetelmällä voidaankin tunnistaa vain tietyt lajit.

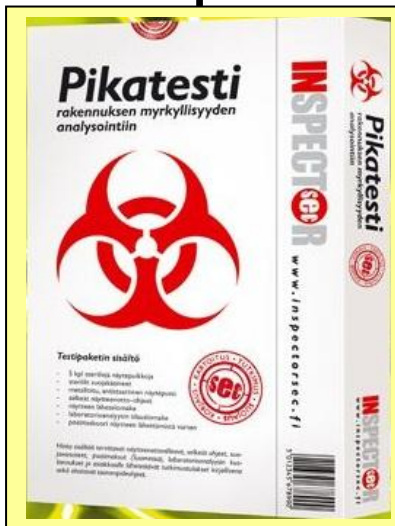


Menetelmällä voidaan tunnistaa

- mikrobi
- sädesienet
- homelajeja
- lahottajasienet (sekvensoimalla)
- Rakennusmateriaalissa voidaan katsoa esiintyvän kosteusvauriosta johtuvaa mikrobikasvustoa, kun näytteen:
 - homesienienpitoisuus ylittää 5 000 kpl/g
 - bakteeripitoisuus ylittää 600 000 kpl/g
 - sädesienipitoisuus ylittää 12 000 kpl/g
- Mikäli tulosta halutaan varmentaa, voidaan näytteet analysoida viljelytekniikalla. Tulos ei kuitenkaan viittaa mikrobivaurioon, vaikka viljelymenetelmällä viitearvot ylittyisivät, mutta DNA-analyysin arvot eivät.
 - haluttaessa tarkemmin määrittää homelajeja, on hyvä tehdä DNA-analyysin lisäksi näytteiden viljelytutkimus.

Drytec Anderssen Oy Ab		Dok. Numero RUT 005
LIITE 3		
Aihe Materiaalinäytteet	Painos 1	Sivu 4 (4)
Tekijä Arto Ylinen	Päivämäärä 21.05.10	Korvaa
Hyväksyjä Mikael Anderssen	Päivämäärä 21.05.10	Voimassa alkaen 21.05.10

Pikatesti



TAVOITE

- Tutkia ja määrittää mikrobilajit ja hiukkaset kohteessa
- Vaurion laajuuden ja lajin määrittäminen toimenpide-ehdotusta varten

Inspector Sec Oy:n Pikatesti

- Rakennuksen myrkyllisyyden analysointiin
- paketti sisältää kaiken tarpeellisen:
 - näytteenottovälineet
 - näytteenotto-ohjeet
 - lomakkeet
 - suojavarusteet
- Hintaan sisältyy:
 - kotimaan postimaksut
 - laboratorioanalyysin kustannukset
 - asiakkaalle lähetettävät tutkimustulokset kirjallisena
 - alustavat toimenpiteet
- Testipaketilla voidaan analysoida yksi kohde, pinta-alaltaan alle 150 m²

Näytteiden otto

- Pölyä kerätään pinnoilta, joihin se on kulkeutunut sisäilman välityksellä:
 - o kylmälaitteiden jäähdytyskennot
 - o sähkölaitteiden tuuletusritilät
 - o kaapistojen, kirjahyllyjen ja valaisimien yläpinnat
 - o Mitä korkeammalta pöly kerätään, sen parempi
- Pöly kerätään steriileillä näytepuikoilla ja suljetaan metalloituun, antistaattiseen pussiin ja lähetetään laboratorioon analysoitavaksi

Analysointi

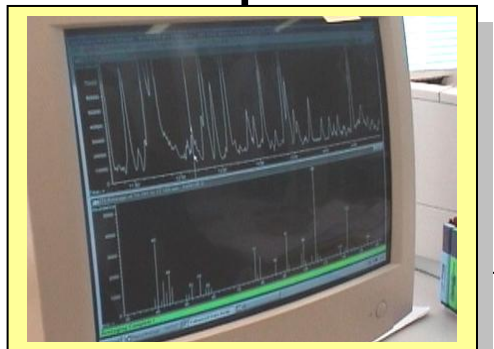
- Solutestin avulla analysoidaan pölyyn sitoutuneiden mikrobiperäisten itiöiden, solun osien ja aineenvaihduntatuotteiden myrkyllisyys
- Näytteestä nähdään rakennuksen myrkkypitoisuus
- Eri myrkkyytyyppien määrittelyyn testi ei sovellu
- Tuloksista tehdään kirjallinen raportti ja annetaan alustavat toimenpiteet, näytteiden lähettämisestä vastauksen saamiseen kestää n. 2-3 viikkoa

Drytec Anderssen Oy Ab		Dok. Numero RUT 004
LIITE 4		
Aihe Ilmanäytteet	Painos 1	Sivu 1 (4)
Tekijä Arto Ylinen	Päivämäärä 21.05.10	Korvaa
Hyväksyjä Mikael Anderssen	Päivämäärä 21.05.10	Voimassa alkaen 21.05.10

Ilmanäytteiden ottaminen

TAVOITE

- Selvittää, mitä epäpuhtauksia ilmassa esiintyy



Hengitysilmassa voi olla erilaisia epäpuhtauksia eri syistä

1. Homeitiöitä, mikrobeja ja niiden emissioita pääsee ilmaan rakennusmateriaaleissa piilevistä homevaurioista
2. Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä pääsee ilmaan maaleista, liimoista ja muista kemiallisista aineista, jotka reagoivat keskenään vapauttaen hengitysilmaan kaasuja
3. Mineraalikuituja vapautuu ilmaan teollisista kuitumateriaaleista, joista irtoaa pieniä hiukkasia hengitysilmaan.
4. Mineraalikuidut tunkeutuvat hengitettäessä hengitysteihin.

1. Huomioi näytteenoton yhteydessä:

- Ihmisiä ei saa oleskella tilassa näytteenoton aikana.
- Tilan siivousta ei saa suorittaa vuorokautta ennen ja vahausta 3 viikkoa ennen näytteenottoa.
- Tilassa ei saa olla elintarvikkeita, ruokaa, juomia, kukkia, kemikaaleja ja vastaavaa.
- Näytteenottaja ei saa käyttää parfyymia tai partavettä, ei myöskään syödä purukumia tai pastilleja.
- Jos lähettyvillä on tupakointitiloja, tulee tästä mainita taustatietolomakkeessa.

2. Pumppu kalibroidaan 0,1 litraan minuutissa.

3. Näytteenottoaika 100 minuuttia, jonka aikana 10 litraa ilmaa pumpataan absorbentin läpi.

Suunnattu VOC-ilmanäytteenotto

1. Pintarakenteesta voidaan ottaa suunnattu ilmanäyte, jolloin pumppu imee tarkemmin tietyltä alueelta tulevia emissioita.
2. Näyte pyritään ottamaan sellaisesta kohdasta pintaa, missä oletetusti on liimaa, maalia tai muuta ainetta, jonka epäillään vaikuttavan hengitysilmaan.
3. Pintarakennetta otetaan irti pieni alue, joka mahtuu kuvun sisään. Kupu kiinnitetään tukevasti pintaan, jotta ilmaa pääsis mahdollisimman vähän muualta keräimeen.
4. Näytteenottoaika on 30 minuuttia.

Ilmanäytteen analysointi

1. Ilmanäyte kerääntyy keräimeen (adsorbenttiin), joka lähetetään akkreditoituun laboratorioon tutkittavaksi.
2. Mukaan täytetään lomake, mistä ilmenee mittausaika, imetty ilmamäärä ja kohteen tiedot.
3. Mukaan voidaan ottaa myös materiaalinäyte kohdasta mistä suunnattu ilmanäyte otettiin. Siitä voidaan laboratoriossa mitata vielä emissiot.

1. Näyte analysoidaan kaasukromatograafilla ja massaspektrometrillä.
2. Analyysi antaa vastauksen siihen, mitä kaasuja ilma sisältää. Myös määrät ilmoitetaan ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Drytec Anderssen Oy Ab		Dok. Numero RUT 004
LIITE 4		
Aihe Ilmanäytteet	Painos 1	Sivu 2 (4)
Tekijä Arto Ylinen	Päivämäärä 21.05.10	Korvaa
Hyväksyjä Mikael Anderssen	Päivämäärä 21.05.10	Voimassa alkaen 21.05.10

Yhdisteet

TAVOITE

- Tuottaa mahdollisimman laaja ja tarkka lista yhdisteistä, joita ilmassa voi olla.

Yhdiste	Yleiset lähteet
Arommaattiset hiilivedyt C16-C24	Muovimatot
Asetofenoli	Muovi
Bentsyylialkoholi	Matot, tasoitteet, epoksimaali
Bentsoehappo(orgaaninen happo, rasvahappo)	Muovinhajoamistuote tai mikrobien metabolia tuote
1-Butanoli	Matot, tasoitteet, laastit, maalit, etc
Dibutyyliformidi?	Hartsit
Dekanaali (aldehydi)	Puu, lastulevy, ym, materiaali
Etikkahappo (orgaaninen happo)	Hajoamistuote, käyminen
2-Etyyliheksyyliakyyli laatti	Muovi, tasoitteet (mahdollisesti herkistävä)
2-Etyyli-1-heksanoli	Liimat ym.
2-(2-Etoksietoki) etanoli	Vesiohenteiset maalit, lakat, muovit, tasoitteet
2-Furfuraali	Puu, korkkimatto, puumateriaalia sisältävät aineet.
Fenoli	Muovit
Fenyyliimaleiinihappoanhydridi	Muovi,(mahdollisesti materiaalin hajoamistuotteet)
Heksanaali (aldehydi)	Puu ym.
Heptanaali (aldehydi)	Puu ym.
Hiilivetyseos kp.150-320	Liikenne päästöt, varinkin diesel päästöjä
Junipeeni terpeeni	Esim. muovimatosta, puusta
Kamofori (terpeeni?)	Esim. muovimatosta, puusta
3-Kareeni terpeeni	Puu ja puuta sisältävä materiaali
Ksyleenit(p,m)	Puu ja puuta sisältävä materiaali
Ksyleeni (o)	Puu ja puuta sisältävä materiaali
Limoneeni terpeeni	Puu ja puutasisältävä materiaali, myös esim. Puhdistusaineessa ?liima
Metyyli-isopropylibentseeni	Kreosootti esim. kivihiilipiki, myös mikrobien metaboliatuote
Naftaleeni	
Nonanaali (aldehydi)	
Oktanaali (aldehydi)	
Orgaaniset Si-yhdisteet	Tiivistemassat yms, silikoonit (mm.leivinpaperi)
Pentanaali eli valeraldehydi(aldehydi)	Puu jne
2-Pentyylifuraani*	Esim. kosteasta puusta
a-Pineeni terpeeni	Puu ja puutasisältävä materiaali
b-Pineeni terpeeni	
Dipropyleeniglykolimetyylieetteri	Muovit, tasoitteet, vesiohenteiset maalit ym.
1,2Propaandioli	styroxi, muovit
Styreeni	liuottimet, liikenne
Tolueeni	liikenne, liuottineet
1,2,4-Trimetyylibentseeni	muovit
TXIB	
Verbanoni terpeeni	
johdannainen	puu ja puutasisältävä materiaali

1. Kaasumaiset orgaaniset yhdisteet jakaantuvat kolmeen eri ryhmään:
 - Erittäin haihtuvat yhdisteet (VVOC)
 - Haihtuvat yhdisteet (VOC)
 - Puoli haihtuvat yhdisteet (SVOC)
2. Hiukkasmaisia orgaanisia yhdisteitä ovat hiukkasiin sitoutuvat yhdisteet (POM).
3. Mikrobeista ilmaan vapautuvat, haihtuvat yhdisteet ovat mikrobien aineenvaihduntatuotteita (mVOC).
4. VOC-analyysissä ilmoitetaan myös haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärä (TVOC).

1. VOC-analyysit jaetaan TVOCeihin ja MVOCEihin.
2. TVOCit ovat haihtuvia orgaanisia yhdisteitä kuten esimerkiksi alkoholeja, kuten 2-etyyli-1-heksanoli. Suuret pitoisuudet näytteessä tarkoittavat, että matto + liima ja tasoite ovat altistuneet kosteudelle. Nämä ovat tällöin erittäneet epäpuhtauksia huoneilmaan.

Yhdisteet jotka voivat viitata kosteus ja/tai homevaurioon mVOC:

- 2- ja 3-metyylifuraani
- 2-pentyylifuraani
- 3-metyyli-2-butanoni
- 3-pentanoni
- 3-metyyli-2-buten-1-oli
- 3-metyyli-1-butanoli
- 1-pentanoli
- 1-heksanoli
- 1-heptanoni
- 1-oktanoli
- 1-okten-3-oli
- 2-heptanoni
- 2-heksanoni
- 3-oktanoni
- 2-oktanoni
- 6-metyyli-5hepten-2-oni
- 1-okteeni
- anisoli
- metyyli-anisoli
- 2-isopropyli-3-metoksi-pyratsiini
- 2-metyyli-isoborneoli
- pyrroli
- dimetyylidisulfidi

Drytec Anderssen Oy Ab		Dok. Numero RUT 004
LIITE 4		
Aihe Ilmanäytteet	Painos 1	Sivu 3 (4)
Tekijä Arto Ylinen	Päivämäärä 21.05.10	Korvaa
Hyväksyjä Mikael Anderssen	Päivämäärä 21.05.10	Voimassa alkaen 21.05.10

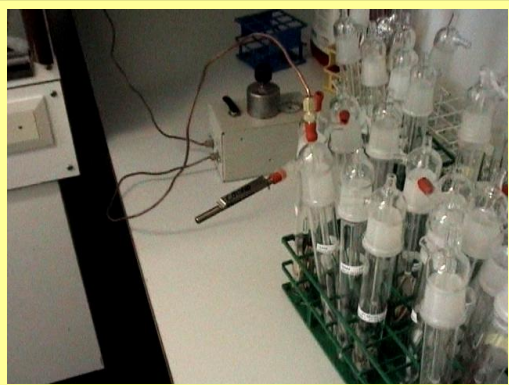
Ilmanäyte + emissiotutkimus

TAVOITE

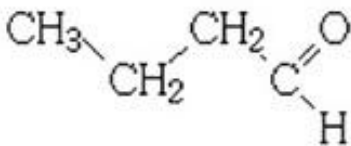
- Selvittää, mitä epäpuhtauksia ilmassa esiintyy ja mistä ne ilmaan tulevat



1. Pintamateriaaleista voidaan ottaa materiaalin emissiomittaus, niin sanotulla FLEC-menetelmällä paikan päällä.
2. Näistä voidaan määrittää, mitkä emissiot tulevat materiaalista.
3. Menetelmä soveltuu lattian, seinäpäällysteen, maalien, pintojen, tiivistysaineiden, liimojen, betonin, tekstiilien, sanomalehtipaperin ja kodin puhdistustuotteiden emissioiden keräämiseen.



1. Ilmanäytteen lisäksi samasta tilasta voidaan ottaa materiaalinäyte, joka kääritään folioon ja lähetetään ilmatiiviissä säiliössä/pussissa laboratorioon ilmanäytteen kanssa.
2. Näytteestä voidaan selvittää, mitä emissioita materiaalista vapautuu ilmaan ja vertaamalla sitä ilmanäytteeseen voidaan selvittää tarkemmin mitä yhdisteitä tulee mistäkin.
3. Materiaalinäytteestä emissioiden mittaaminen laboratorio-oloissa tapahtuu soveltavaa FLEC-tekniikkaa käyttäen.



1. Ositum Oy:n FLEC menetelmä käyttää keräimessä useampia adsorbentteja, näin yhdisteiden tulkinta on tarkempaa. Esim. näytteestä voidaan selvittää myös vesiliukoiset yhdisteet.
2. Analyysimenetelmässä on käytetty cryo-tekniikkaa, jossa koloniuunin lähtölämpötila on laskettu +10 °C:een, tavanomaisesti analysointi aloitetaan lähtölämpötilasta +40 °C.
3. Analyysissa käytetään erityispitkää 60 metrin kolonnia näytteiden sisältämien yhdisteiden tarkkaan erotteluun.
4. Käytetty tekniikka mahdollistaa hyvin keveiden tavanomaisissa sisälämpötilassa esiintyvien yhdisteiden havainnoinnin (VOC/VOC).
5. Näytteet on analysoitu standardien ISO 16000-6 ja SFS-EN 16017-1 mukaisesti käyttäen thermodesorptiota ja kaasukromatografiaa, ilmaisimena on käytetty massaselektiivistä detektoria, Agilent TD/GC/MS-laitteistoa.



Drytec Anderssen Oy Ab		Dok. Numero RUT 004
LIITE 4		
Aihe Ilmanäytteet	Painos 1	Sivu 4 (4)
Tekijä Arto Ylinen	Päivämäärä 21.05.10	Korvaa
Hyväksyjä Mikael Anderssen	Päivämäärä 21.05.10	Voimassa alkaen 21.05.10

Itiöt Impaktorilla



TAVOITE

- Selvittää, mitä homeitiöitä ilmassa esiintyy

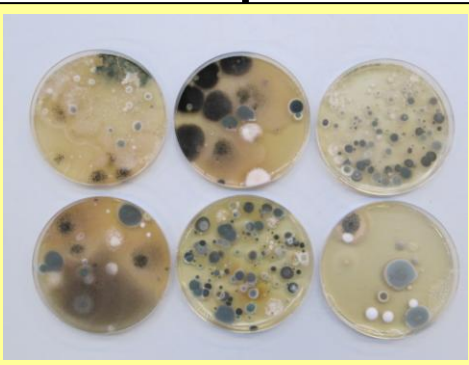
Andersen 6-vaiheimpaktori

1. Laite imee ilmaa ja siinä olevia hiukkasia säiliöön, jossa itiöt kerääntyvät eri tasoilla oleville kasvatusmaljoille riippuen niiden massasta.
2. Laitetta suositellaan käytettäväksi vain talvisaikaan, jolloin ulkoilman sieni-itiöpitoisuudet ovat pienimmillään.
3. Jos käytetään silloin, kun maa on sula, on ulkoilmastakin otettava oma ilmanäyte vertailunäytteeksi.



Andersen 6-vaiheimpaktorin käyttö

1. Ensimmäiseksi muista AINA puhdistaa laitteen keräinsäiliöt desinfiointi liinalla.
2. Numeroi petrimaljat sen mukaan, missä järjestyksessä ne ovat keräimessä.
3. Laita petrimaljat säiliöön ja sulje se huolellisesti.
4. Käynnistä impaktori ja samalla ajastin. Pidä laite käynnissä 10–15 min, mutta ajan on oltava tarkasti sama kaikilla näytteillä. Laita esim. ajastin 10 min ja sammuta sen hälyyttäessä.
5. Mittausajan päätyttyä ota maljat säiliöstä varovasti ja varmista, että ne ovat oikein numeroitu.
6. Merkitse muistiin mittauspaikan tiedot, aika jne.

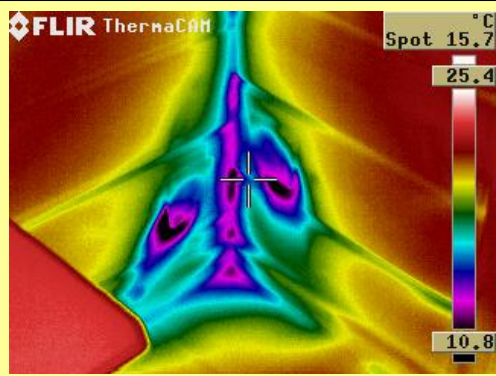


Ilmanäytteen analysointi

- Ilmanäytteestä voidaan selvittää homeitiöiden määrä ja lajit, joko viljelemällä tai DNA-analyysillä
 - o Viljelymenetelmässä petrimaljoissa olevissa näytteissä kasvatetaan eri itiöitä kaksi viikkoa. Tulos ilmoitetaan cfu/m² -muodossa.
 - o DNA-analyysillä tulos saadaan 1-3 päivässä. Tulos ilmoitetaan kokonaisitiö-/solumääränä.

Drytec Anderssen Oy Ab		LIITE 5	Dok. Numero RUT 006
Aihe Lämpökuvaus	Painos 1	Sivu 1 (1)	
Tekijä Arto Ylinen	Päivämäärä 21.05.10	Korvaa	
Hyväksyjä Mikael Anderssen	Päivämäärä 21.05.10	Voimassa alkaen 21.05.10	

Lämpökamerakuvaus



TAVOITE

- Selvittää, missä rakennuksen osassa on vuotokohtia tai kylmäsiltoja

Lämpökamera

1. Lämpökamera mittaa kiinteiden pintojen emittoimaa infrapunasäteilyä ja muodostaa säteilyn voimakkuuden perusteella kuvan, jossa lämpötilaerot havainnoidaan eri värisävyillä.
2. Kameralla näkee pintarakenteiden läpi, koska lämpösäteily tai sen puute säteilee läpi materiaalin. Näin voidaan nähdä onko esim. lämpöeristyksessä puutteita.
3. Lämpökamerakuvaus on paras tehdä talvisaikaan, kun lämpötilaerot ulko- ja sisäilman välillä ovat suuret. Tällöin vuotokohdat on helpommin huomattavissa.

1. Jotta mittaustulokset olisivat tarkkoja, lämpökameraan täytyy määritellä kuvauskohteen emissiivisyys ja ympäröivä taustasäteily eli taustalämpötila.
2. Lämpökameralla pystytään ottamaan pinnan pistelämpötila ja kameran mukana tulevalla tietokoneohjelmalla pystytään kuvasta selvittämään lämpötila kuvan eri kohdista.
3. Kuvassa eri värisävyt kuvaavat eri lämpötiloja, esim. musta on skaalan kylmintä aluetta, josta lämpötila nousee sininen->violetti->vihreä->keltainen->punainen ja valkoinen on lämpimintä aluetta.

Lämpökamerakuvaaminen

1. Auringon lämpösäteily vaikuttaa tulokseen. Paras aika tehdä lämpökuvauksia on siis aamuyöstä, kun edellisen päivän vaikutukset ovat pienimmillään ja aurinko ei ole vielä noussut.
2. Mittaa ulkolämpötila ja kuvaa rakennus/asunto yleisesti eri ilmansuunnista, jos mahdollista. Ota lähikuvia näkyvistä vuotokohdista, jos niitä näkyy jo ulkoa päin.
3. Mittaa sisälämpötila ja kuvaa sisätilat. Muista merkitä mittausten ajankohdat.
4. Kiinnitä erityistä huomiota ovien ja ikkunoiden tiivisteisiin, nurkkiin ja erikoisiin rakennuskohtiin. Kuuntele myös asunnon käyttäjän kokemuksia mahdollisista vuotokohdista.
5. Mittaa lopuksi ilmanpaine-erot sisä- ja ulkotilan välillä jos mahdollista.

Raportti

- Lämpökamerakuvauksesta voidaan tehdä asiakkaalle raportti, josta ilmenee.
 - Mittauksen ajankohta
 - Kuvausajankohdan ulko- ja sisälämpötilat
 - Sanallinen arviointi vuotokohdista rakennuksessa
 - Kuvia tärkeimmistä kohdista joissa on mahdollisesti vuoto/vaurio